

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

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

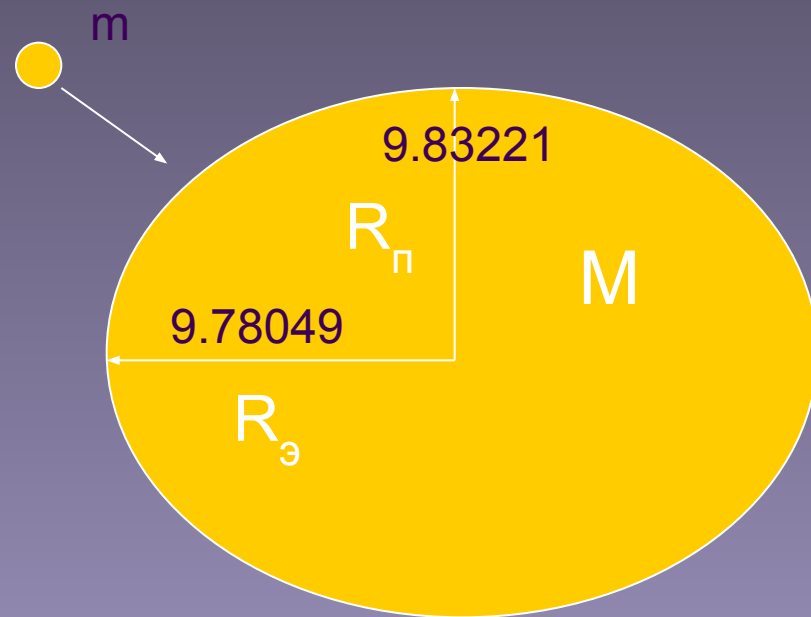
$$g = k \frac{M}{r^2}$$

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

$$M = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

$$R_p = 6.378 \text{ км}$$

$$R_n = 6.357 \text{ км}$$



Задача: Чему равна средняя
плотность Земли?



Какова плотность минералов?

Минерал	Плотность, Кг/м ³
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/м³, залегающее среди пород плотностью 2000 кг/м³?

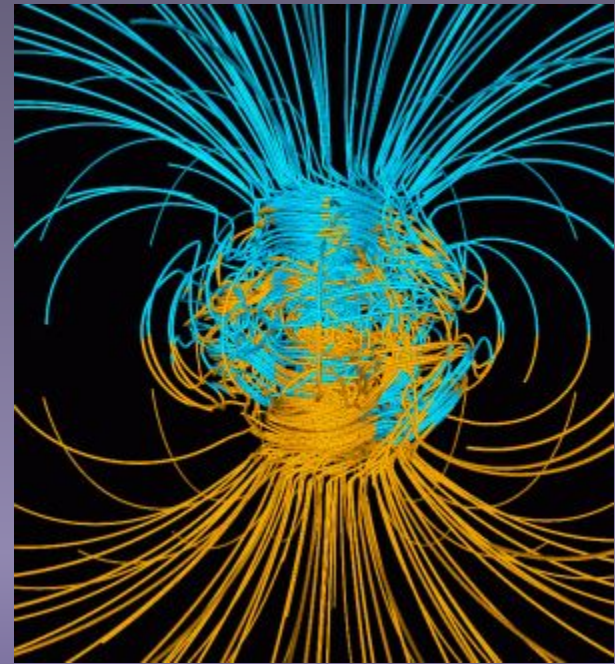
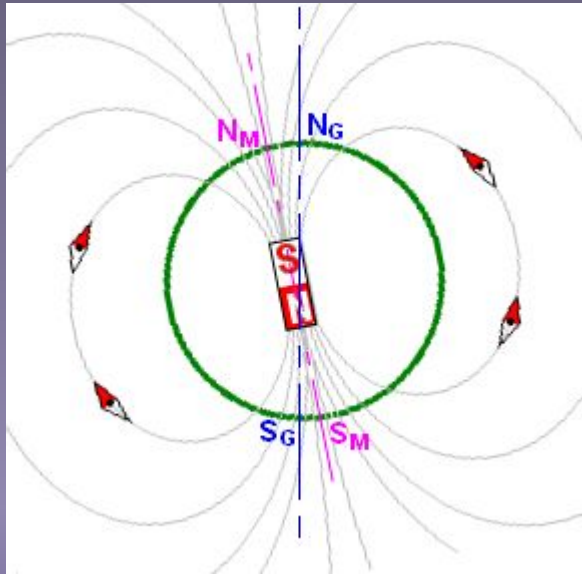
$$1) m = \text{изб.плотность} \times \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = (3-2)10^3 \cdot \frac{4}{3} 3.14 \cdot (10^2)^3 \approx 4.2 \cdot 10^9 \text{ кг}$$

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

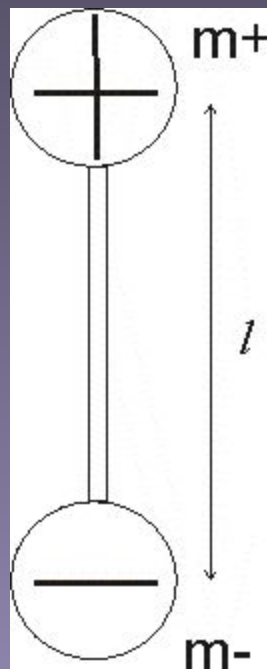
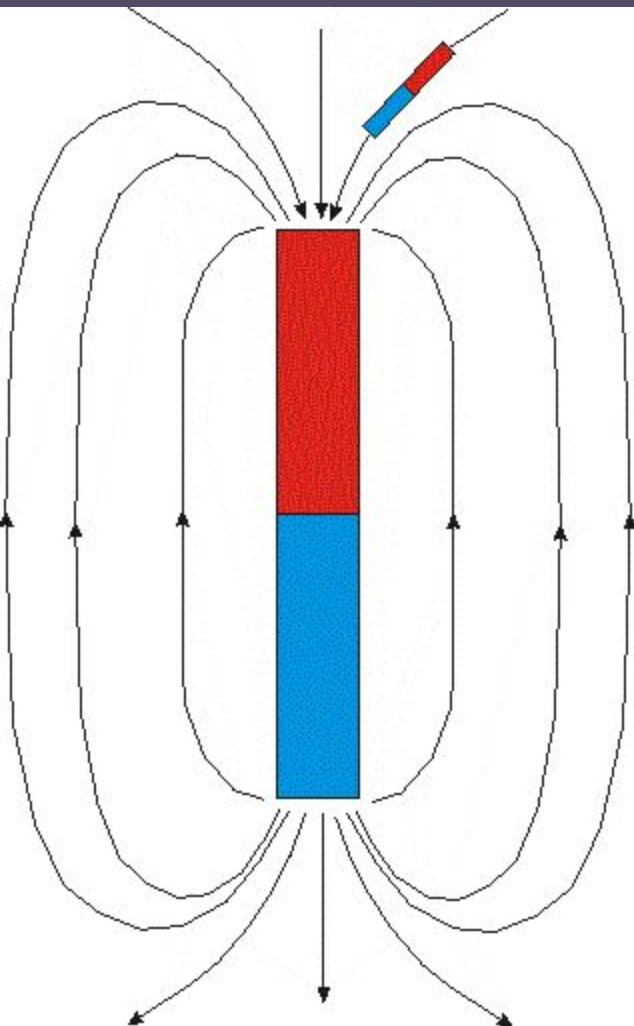
$$g_{\text{дополнительное}} = g - g_0$$

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

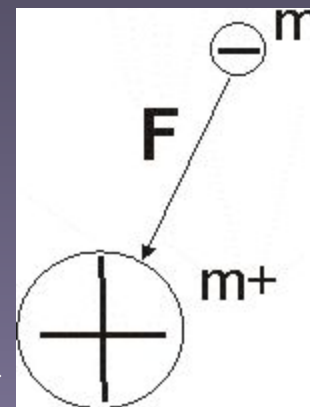
Магнетизм и магнитометрия



Магнитное взаимодействие



$$M = m \cdot l$$

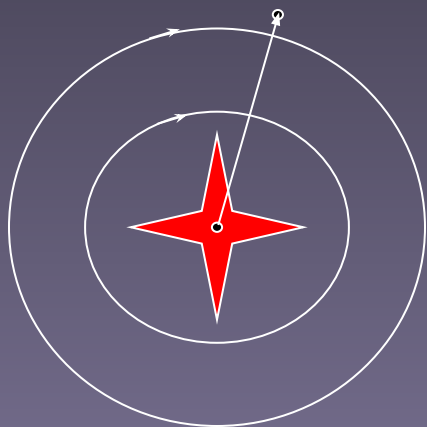


$$F = \frac{\mu_0 m^+ m^-}{4\pi r^2},$$

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

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

Магнитное взаимодействие



$H=?$

$H \sim I/R$

$[H]=[A/m]$

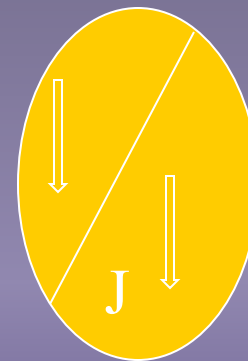
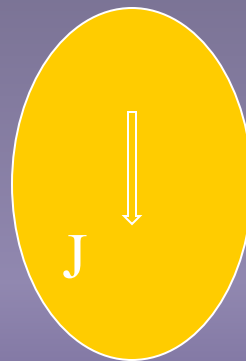
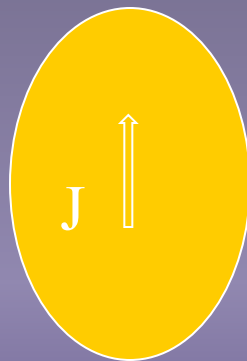
H



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

$$J = kH$$

k - магнитная
восприимчивость

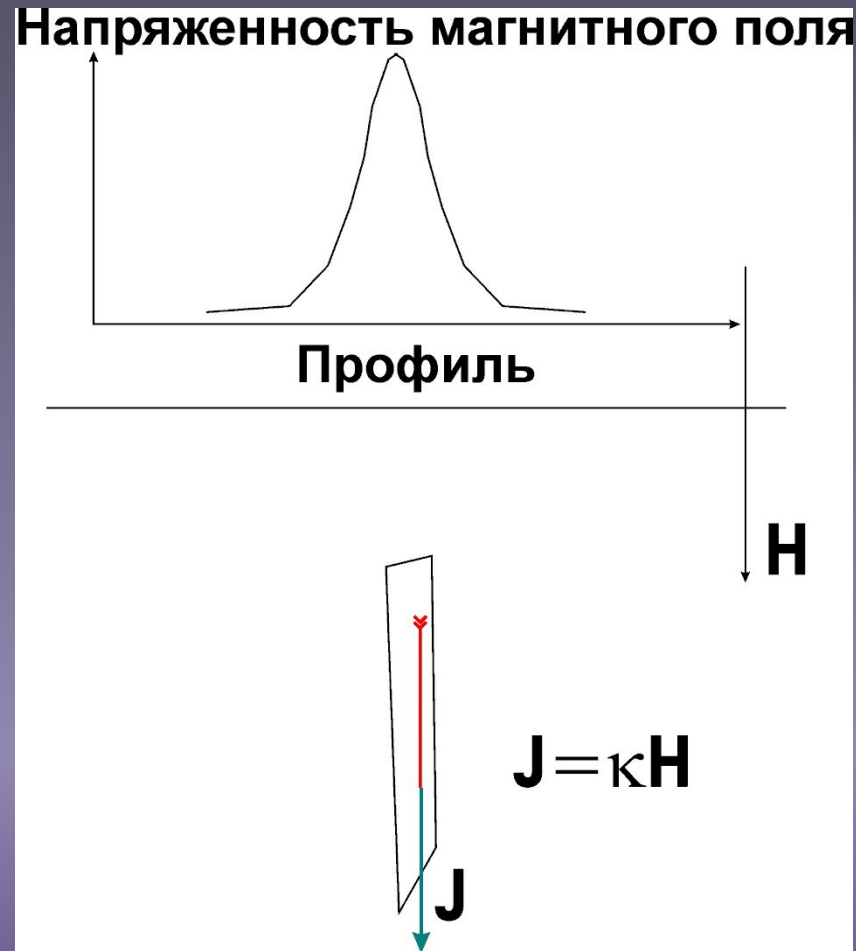


Магнитная восприимчивость - основное свойство пород,
используемое в магнитометрии!

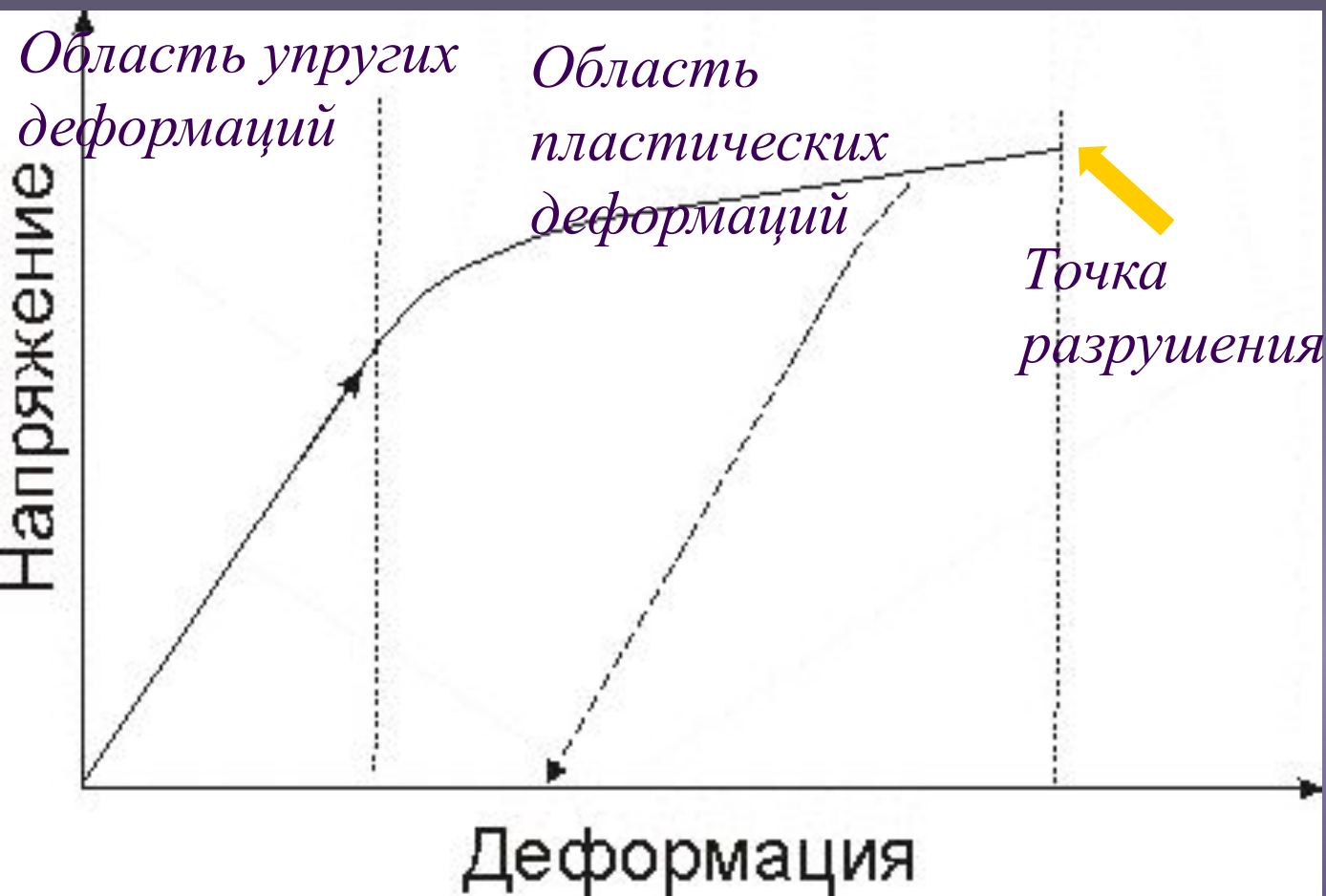
Магнитные свойства некоторых минералов

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:

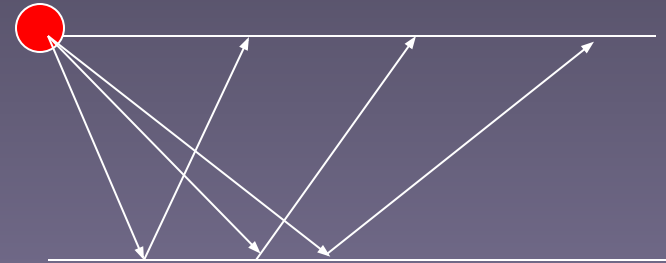
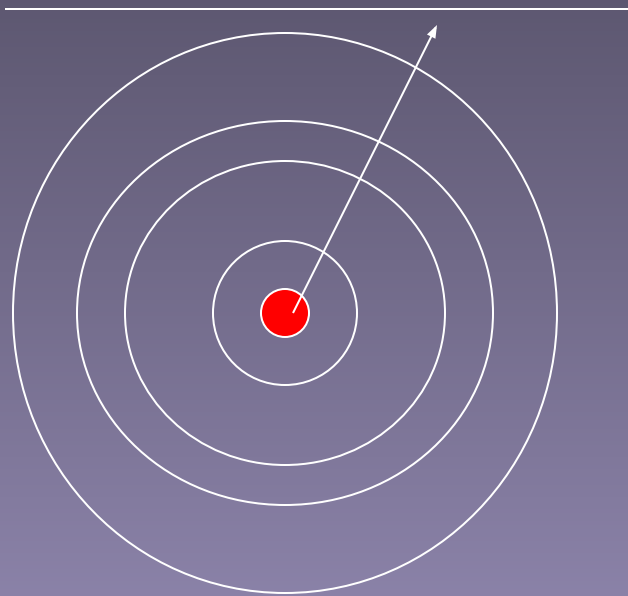


От упругости к сейсмологии и сейсморазведке



Нортридж, Калифорния, 1994

Упругие волны



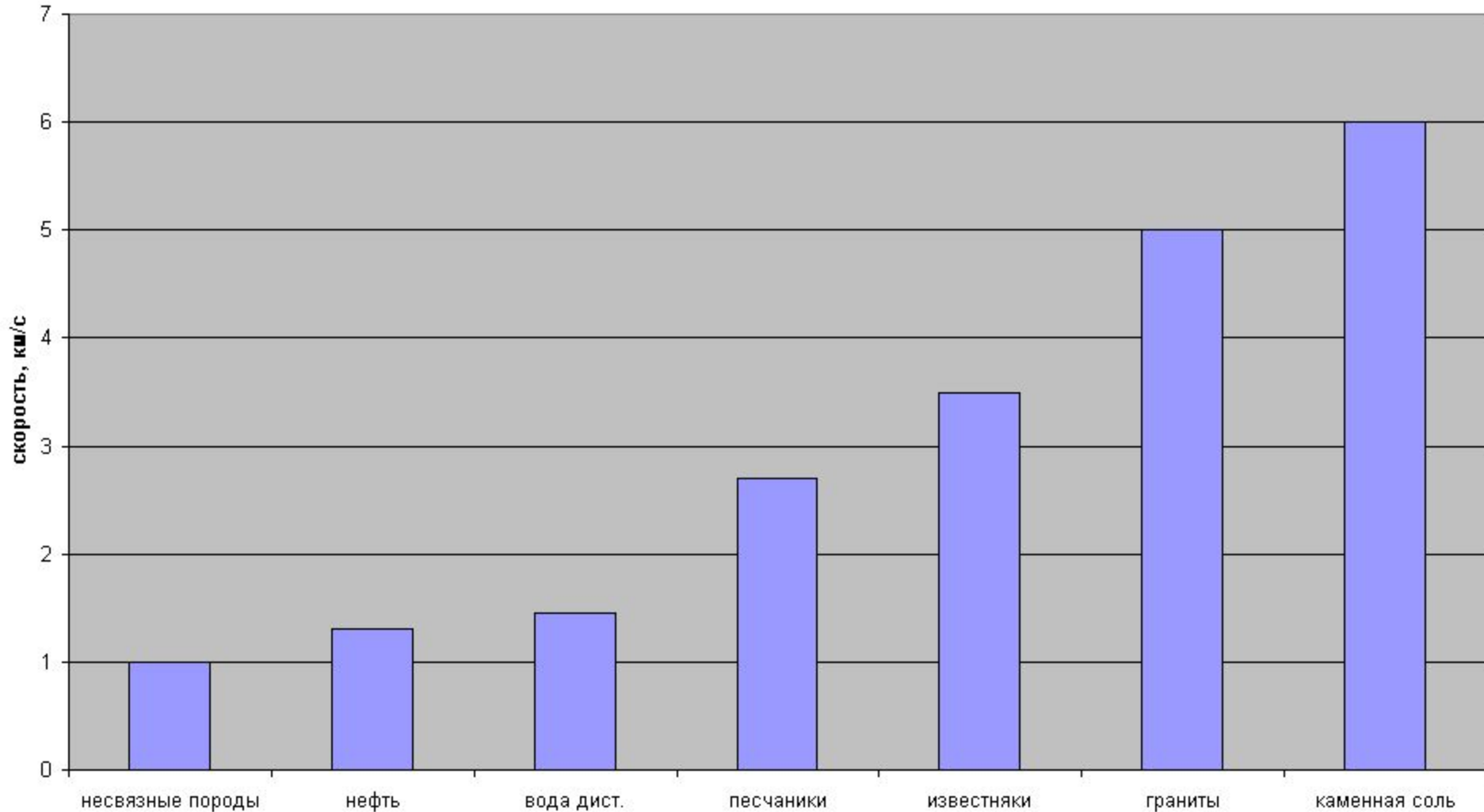
Волны сжатия-растяжения (P)



Волны сдвига (S)

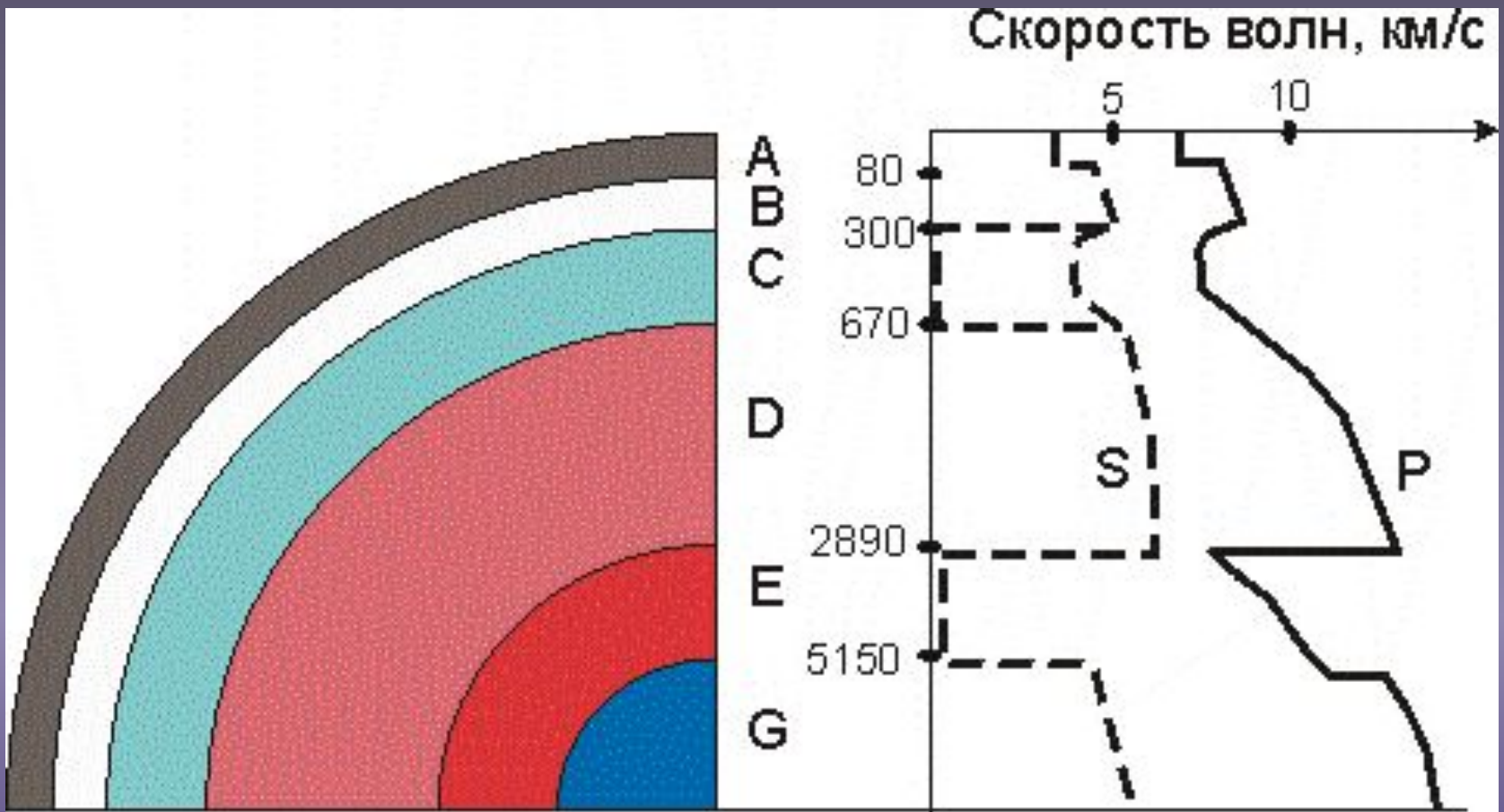


Скорость распространения Р-волн



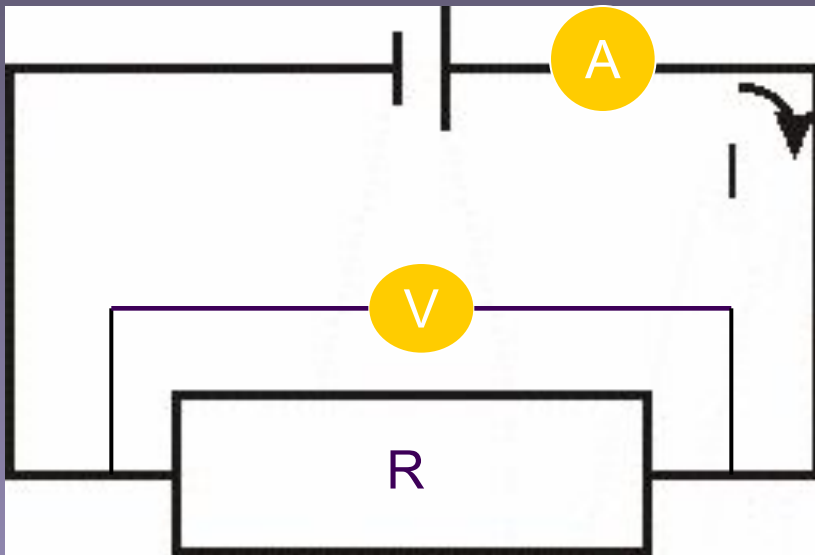
Скорость - одна из основных характеристик породы в сейсморазведке и сейсмологии

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)

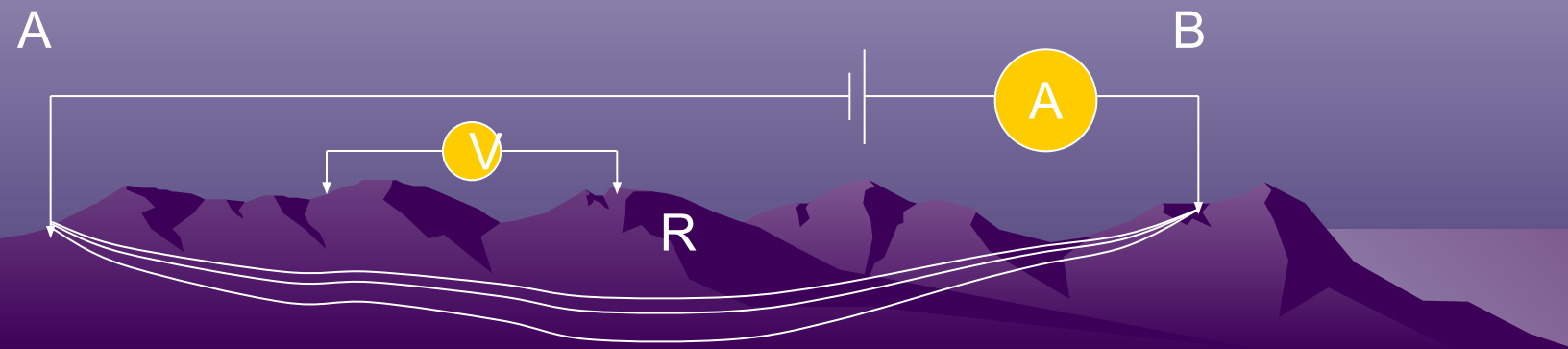
$$j = E / \rho = \sigma E$$

j-плотность тока, А/м²

E-напряженность, В/м

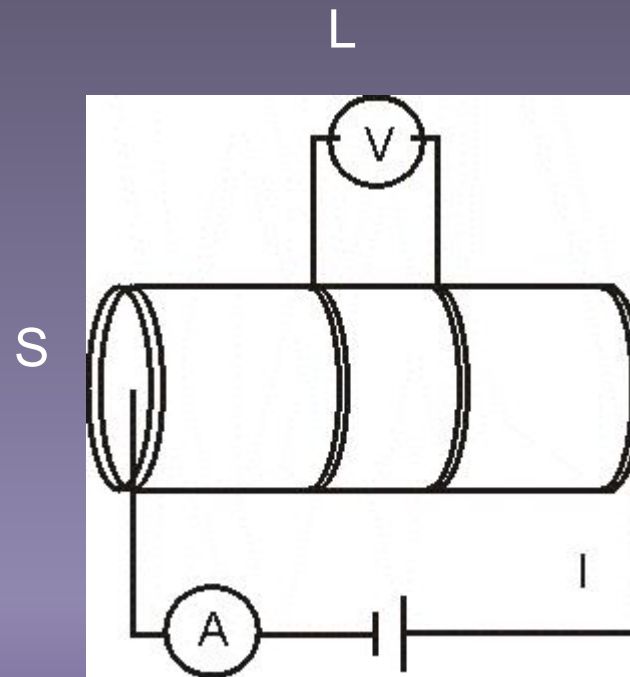
σ-электропроводность,

ρ-удельное электрическое сопротивление



Удельное электрическое сопротивление

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



Механизм электропроводности

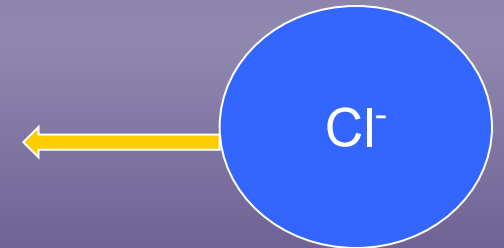
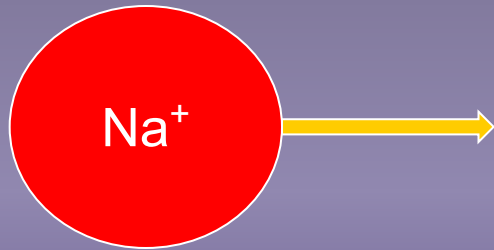
E



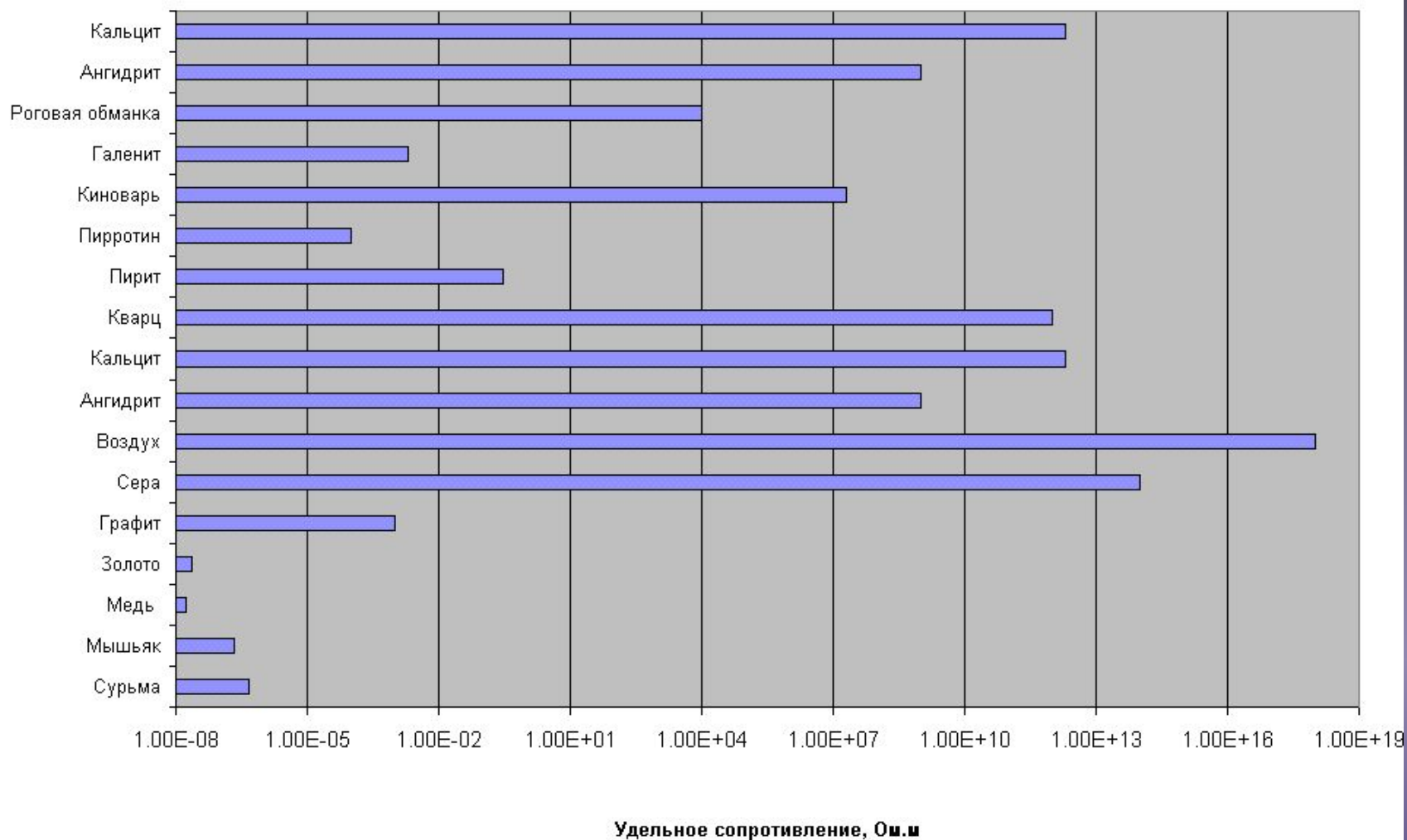
Проводники и полупроводники



Ионы в электролите

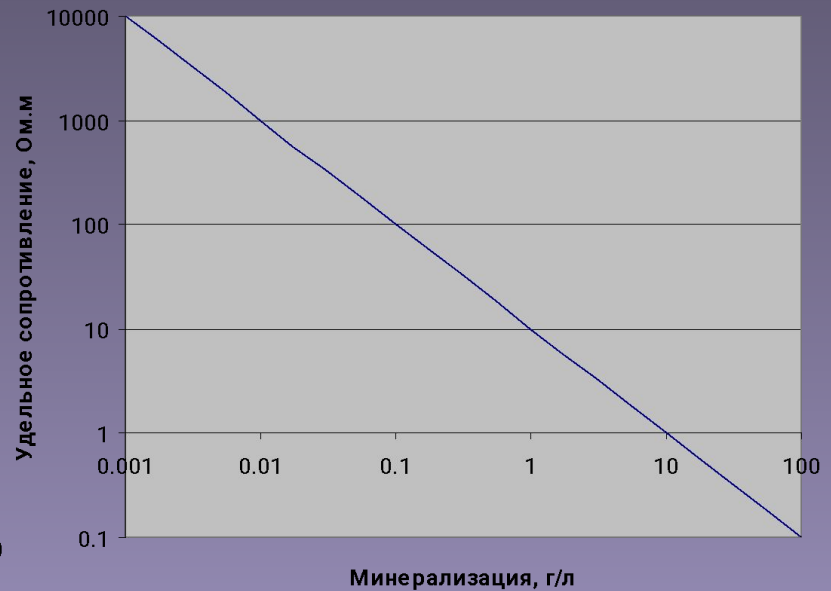
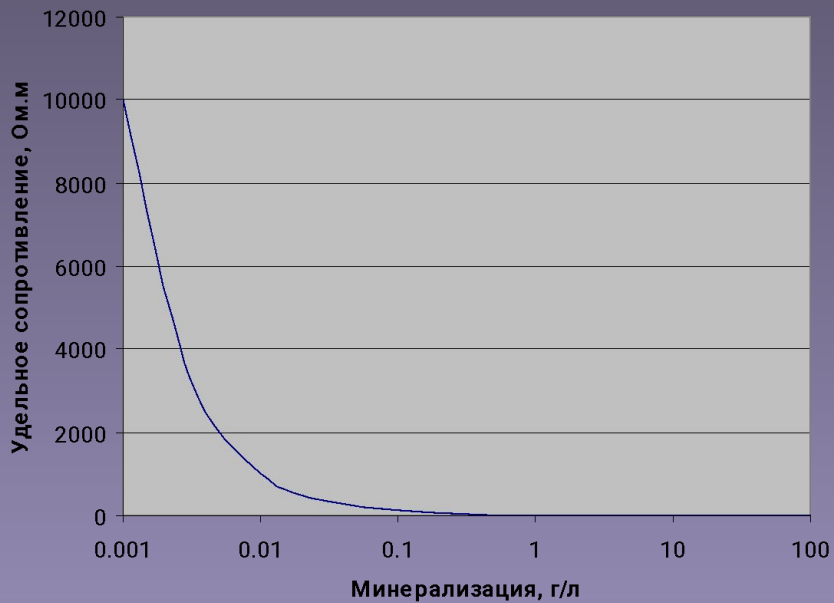


Удельное сопротивление элементов и минералов

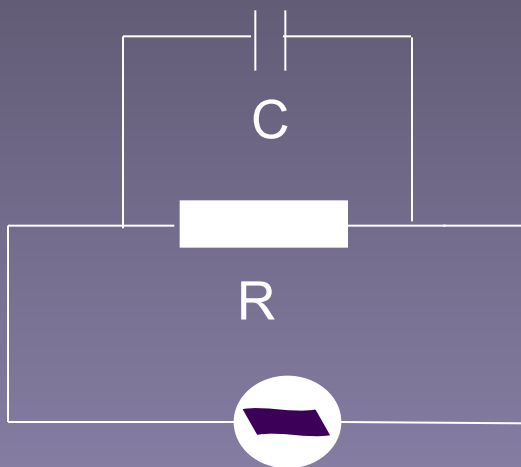


Электропроводность (и удельное сопротивление) воды

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

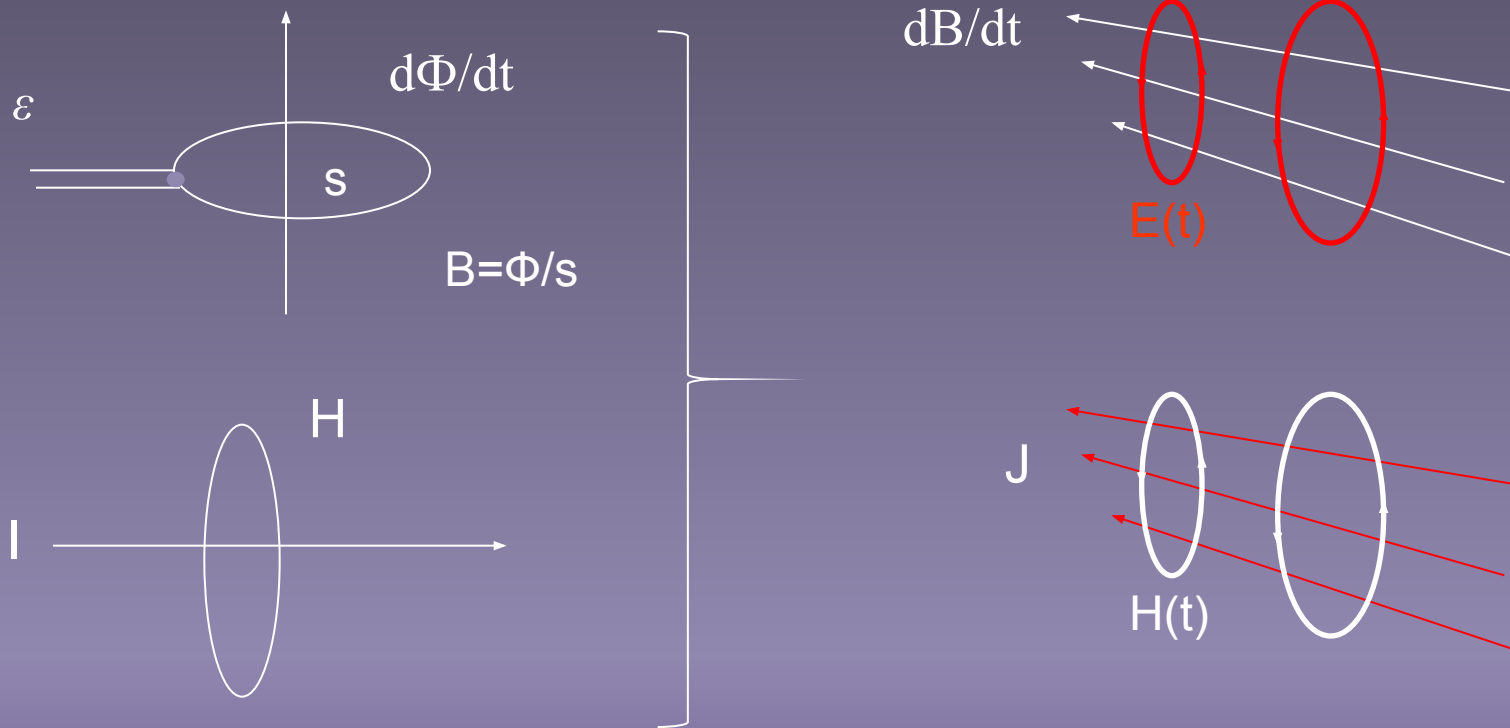


Явления, связанные с переменным полем

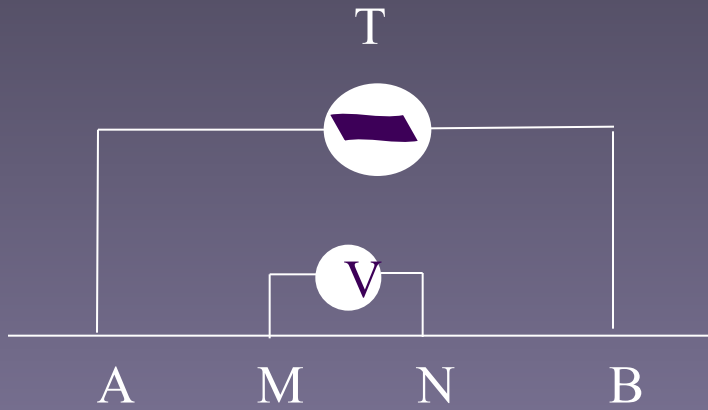


Ёмкость

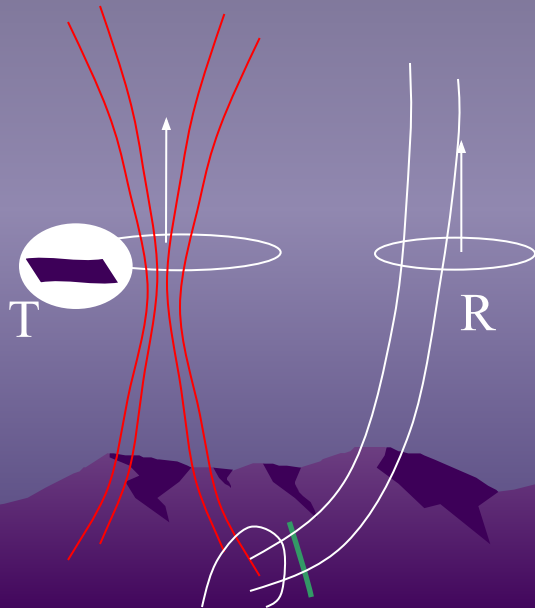
Электромагнитная индукция



Искусственные поля

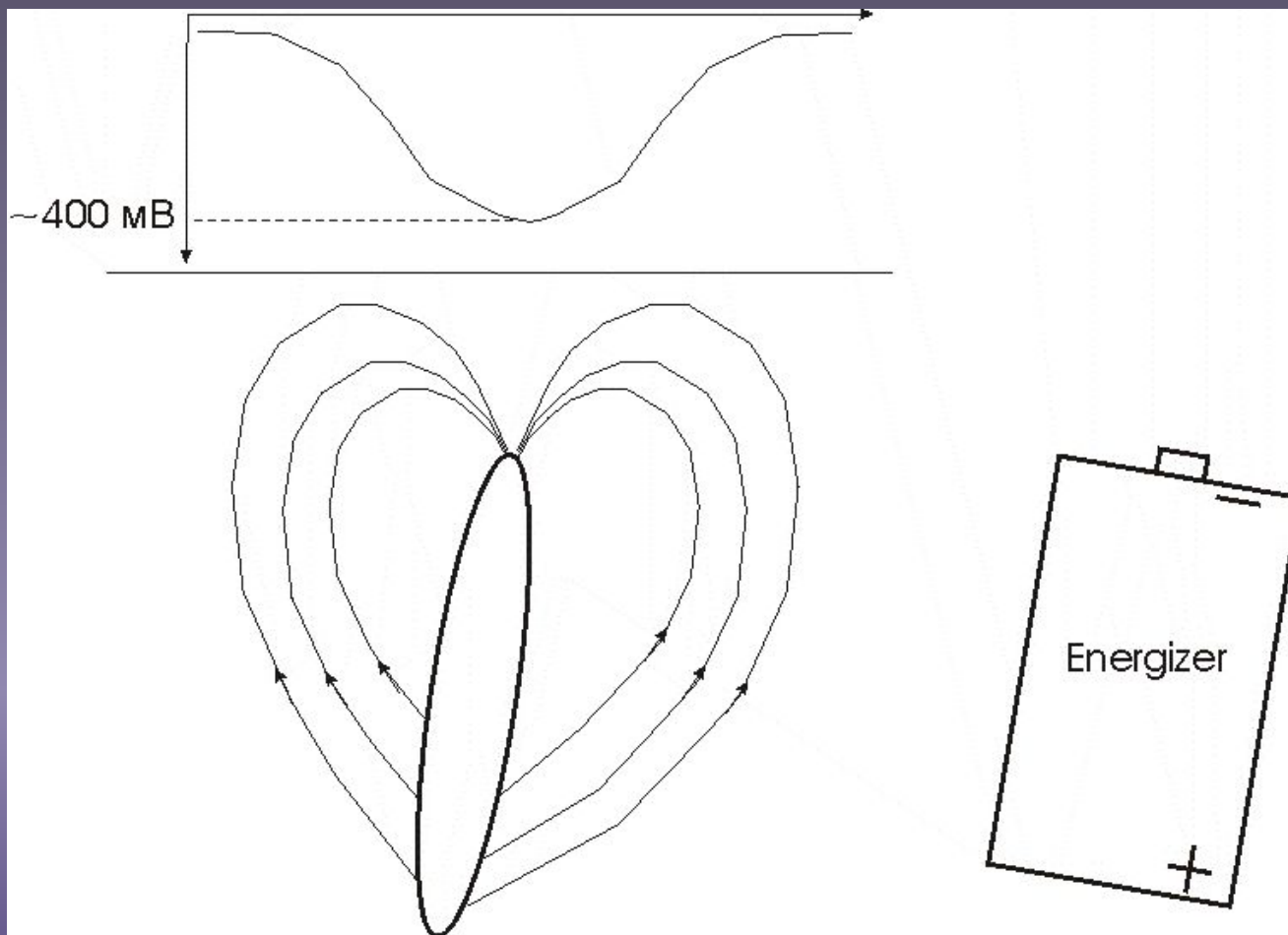


Метод сопротивления



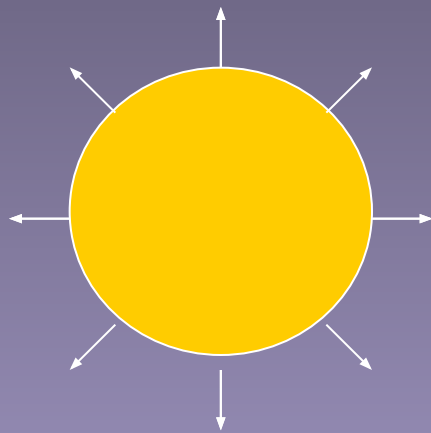
Индуктивные методы

Постоянные естественные поля – гео-батареи



Теплофизика и геотермия

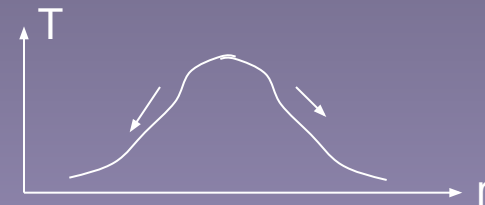
Тепловой поток (Q) – тепло, уходящее из недр Земли в космическое пространство $Q=4 \cdot 10^{13}$ Вт (Дж/с) $\sim 1.9 \cdot 10^{10}$ т нефти



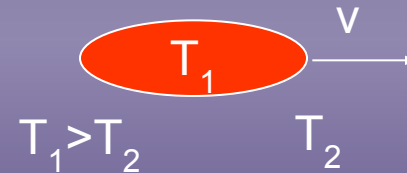
Плотность теплового потока $q=Q/s$ (Вт/м²)

Теплоперенос:

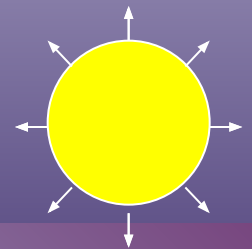
Кондуктивный



Конвективный



Излучение



Тепловые свойства

Закон Фурье:

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

Коэффициент теплопроводности λ

Температуропроводность

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

Где σ – плотность, c – удельная теплоёмкость (Дж/(кг·К))

Средние значения теплофизических свойств некоторых пород

Порода	λ , Вт/(м·К) Теплопроводность	a , 10^{-7} м ² /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 ⁻¹)	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

