

Лекция № 2

Солнечная система и возникновение планет:

С. с. возникла $\sim 4,7$ млрд. лет назад в результате аккреции твердых частиц газопылевого протопланетного облака.

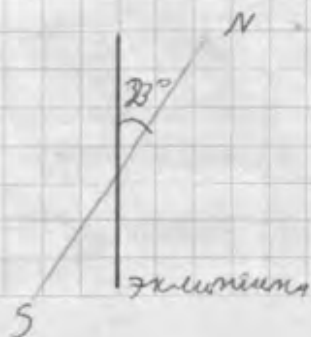
Возраст Земли $\sim 4,5$ млрд. лет.

Энергия, выделившаяся при аккреции Земли $\sim 3,32 \cdot 10^{32}$ Дж, этого дост., чтобы исп. всю Землю при $30 \cdot 10^5$ °C;

Сведения о Земле:

Радиус до С.	6378,6 км
Масса	$5,978 \cdot 10^{24}$ кг
Период вращения	23:56:04
Средний радиус	6371 км
Ср. плотность	$5,518 \text{ г/см}^3$
Наклон экв. к орб.	$23^\circ 27'$
Статия = $\frac{R_2 - R_1}{R_2}$	71300

Земля \approx эллипсоид вращения;



2.2 Образование атмосферы:

Гипотезы:

1) Атом. бомба захвачена из протопланетного облака в процессе аккреции.

(масса $\sim 10^{22} \sim 10^{23}$ кг, $P \sim 10^4$ атм, $T \sim 10000^\circ\text{C}$)

Нетучеат. следов атом., незначител. механизмы димитации перв. атмосферы.

2) Около 4 млрд л.к. врез дегазации максим обр. атмос. гидро-сфера. H_2O , CO_2 и др. (H_2S , CO , H_2 , N_2 , CH_4 , Ar , NH_3 , HF , HCl). O_2 - кет! - и кыже сну. в атом.

Но: земное веуч-во сильно обеднено этими летучими я-ми. - и кыже атом- и гидро-сфера были бы мощнее.

Судьба ок. соединений: H_2O - г. и а. сферы; CO_2 - в горных породах и океане; N_2 - орг., осадки, свр. атом., O_2 - 1,5 млрд лет назад; и точками O_2 - фотодиссоц. пара, фотосинтез;

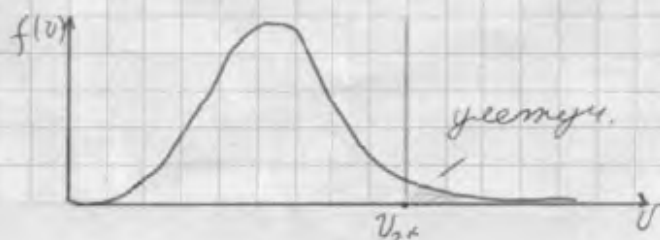
Условие существования атмосферы:

$$v_{\text{эк}} = \sqrt{2gR} \approx 11,2 \text{ км/с}; \quad v \sim \sqrt{\frac{kT}{m}};$$

$$\text{При } T = 300 \text{ К}, \quad v_{\text{H}_2} \approx 1,1 \text{ км/с}, \quad v_{\text{H}} \approx 0,3 \text{ км/с}; \quad (< v_{\text{эк}})$$

потери ~ 1 кг H_2 в сек.

1 запас $\text{H}_2 \sim 10^9 \sim 10^8$ кг

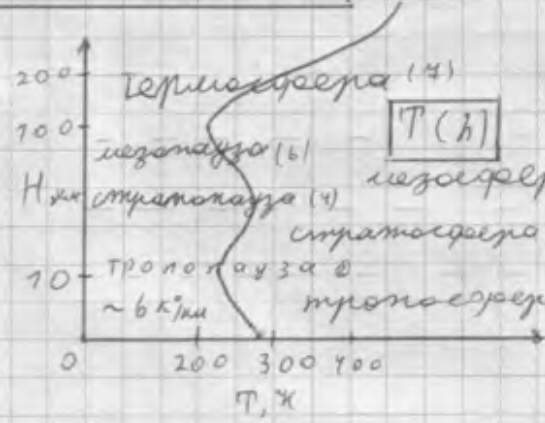


Масса атмосферы	$\sim 5 \cdot 10^{18} \text{ кг}$
Масса Земли	$\sim 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
90% массы атм. в слое	16,3 км
99% массы атм. в слое	32,2 км

Постоянные:

Азот 48%,
Кислород 21%,
Аргон 1%,

III. о. атм.
 воздух. ч. г.



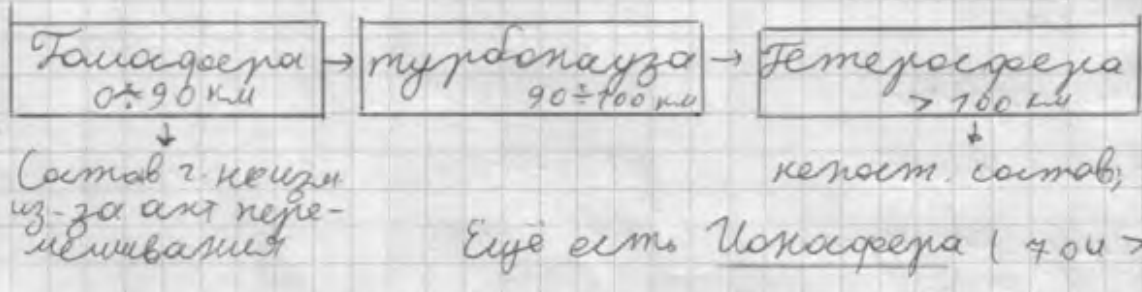
Переменные:

Вода	0 ÷ 7%
CO ₂	0,7 ÷ 0,01%
Озон	0 ÷ 0,01%
SO ₂	0 ÷ 0,001%
NO ₂	0 ÷ 0,00002%

- 1) мин: $T_{\text{поверх}} = -62^\circ\text{C}$, $T_{\text{над}} = -45^\circ\text{C}$;
 $h_{\text{н}} \in (7; 8) \text{ км}$ - пол; $h_{\text{н}} \in (15; 16) \text{ км}$ - р-н жв.
- 2) Минимумы температур;
- 3) до 50 км; поглощение у-го. рад $\Rightarrow T \uparrow$ (азона-макс)
- 5) 50 ÷ 80 км; снижение T (до -100°C)

4) до 1000°C; пол. коротковолновой части солн. р.;
 высокая ст. ионизации; Из-за малл. поля земн. возн.
 трудности вв. термод. темп ($E_{\text{вн}} \approx E_{\text{к}}$).

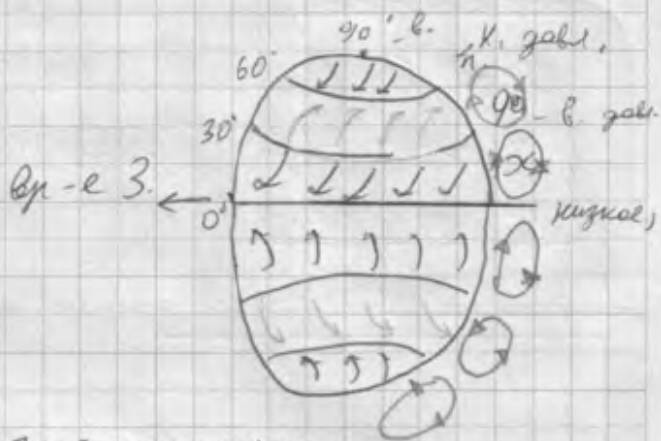
Классификация по составу атм:



2.4 Икосфера: D, E, F слои;
 жемчужинчатый слой 'Этимиона'

Из теории самосор: в атм. есть 3 ячейки:

Хэдзи, Феррелл, поларная - они в-н-в. давл.



Применение гидросферы:

Условия:

1) $T > T_{пл}$; 2) $P_{плур} > P_{кас}$ для газобр. фазы (кажд.)

3) $T < T_{кр}$ и $P < P_{кр}$ (647,3 К и 22,12 МПа), $T = P$.

разница между ж и г. есть!

3 млрд. т.н. воды было; в свр. океанское дно ~ 250 млн.т.

Шельф 47.5 океано, $h < 200$ м - продолжение корки;

	Глубина, м	Углек
Шельф	0-200	~0,002
Мат. склон	200-3000	~0,01-0,1
Мат. подножие	3000-4000	~0,001-0,01
Ложб. океана	2000-6000	
Сред-ок. хребты	2500-4000	~0,005
Глуб. жел.	> 6000	~0,1

Масса воды в М-о	$1,37 \cdot 10^{21}$ кг
Треская вода	$3,5 \cdot 10^{19}$ кг
Мировой зап.	$1,46 \cdot 10^{19}$ кг

Мир. зап. 408 т. пов-и , Ср. г. н. н. о. = 3710 м ;

В подземных водах - много запасов!

$\text{H}^1, \text{H}^2, \text{H}^3, \text{H}^4, \text{H}^5$ $\text{O}^{15}, \text{O}^{16}, \text{O}^{17}, \text{O}^{18}, \text{O}^{19}$
 - нет в прир. - есть в прир.

В природе $\text{H}_2\text{O}^{16} \approx 99,43\%$, $\text{H}_2\text{O}^{18} \approx 0,2\%$
 $\text{H}_2\text{O}^{17} \approx 0,04\%$;

Примеси:

Na^+ $\approx 30,6\%$
Mg^+ $\approx 3,68\%$
Cl^- $\approx 55,02\%$
SO_4^{2-} $\approx 7,71\%$

Соленость морской воды

$$S = \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{пр}} + m_{\text{д.в.}}} , S = 1000 \cdot S \text{ [‰ примеси]}$$

Вдали от берегов г. сод. г. и. хлоридов фиксированно.

$\bar{S} \approx 35\text{‰}$, д. кол-во соли $4,9 \cdot 10^{19}$ кг, (и $\approx 750 \text{ км}^3$)

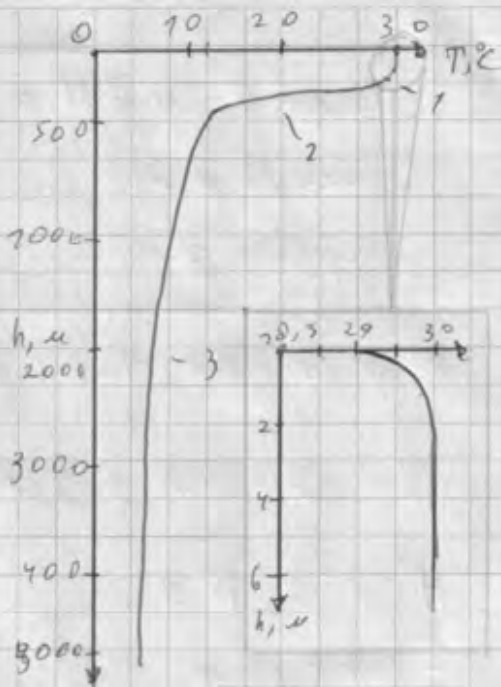
- 2.6 ^{70 м.} 1 - верхний квазизадн-слой (ВКС)
 2 - термосилик;
 3 - глубокий слой;

Тонкая термокаменная стр.:

На самом деле (во многих случаях) темп. изменяется

"кратыками" - ступеньками.

$h \sim 1 \text{ см} \sim 1 \text{ м}$, ϵ (гор) до 1 км



(20.11.13) 1.8

В северной полушарии течения по ч, а в ю. - троп.

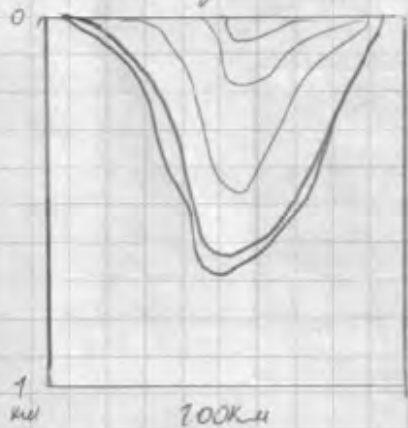
Течения по ветру катр.

Вращение связано с силой Кориолиса.

Течения: Гольфстрим, Бразильское, Какариское, Перуанское, Курамо, Мозамбикское, Полярное (Юж)

Изотерми - линии с одинак. скоростью течения:

Гольфстрим:



1 На больших глубинах (700 м) возможно кривотечение.

Течение кривое: под водой (200 ÷ 700 м) река вобр. катр. течёт река (П-обр. форма).

Аналог. подвод течение Ломоносова и Пареева в Атл. и Индийском океане

соотв. (45 ÷ 400 м и 100 ÷ 400 м глубины).

$v \approx 1 \text{ м/с}$;

"Глобальный тепловой конвейер", Глобальная океаническая циркуляция (Т = 1000 лет),

Устойчивость равновесия:

Минимизирующие течения, скаптические вихри, (d ~ 10 км; v ~ 10 см/с) Ек - большая часть в вихрях!

32 Положит. обр. связь - увеличивается откл.

Отриц. обр. связь - уменьш. возмущ.

Сдвиговая неустойчивость - причина неуст. в океане.

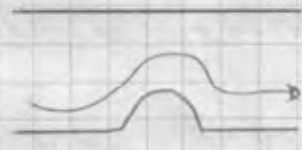


Парадокс. гидрод. $\frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} = const$
(Бернулли)

Если у нас возникло возм.:

то оно будет увелич. со вр.

Возникнет вихрь (по аналогии с б.)



Свойства воды:

теплоёмкости	$4186 \frac{Дж}{кг \cdot K}$	ρ
теплота пл.	$332400 \frac{Дж}{кг}$	γ
теплота парообр.	$2256200 \frac{Дж}{кг}$	σ
пов.нат.	$0,075 Н/м$	μ
		ϵ

3х-я.

Вода - в трёх фазах; хороший раств-ель;

Изотерм. сжимаемость	$K_T = 4.5 \cdot 10^{-10} м^2/Н$
Адиабат. сж.	$K_A = K_T \cdot C_v / C_p$

$K_T = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\Delta \rho}{\Delta p} \right)_T$, $K_A = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\Delta \rho}{\Delta p} \right)_A$

$K_T > K_A$

$\left(\frac{\Delta \rho}{\Delta p} \right)_T = \frac{1}{\rho c^2} \equiv c^2 [м^2/с^2]$

c - ск. звука,

Вода, будучи несжима, сделала бы колокольчик-м-ч, если из воды мирового океана, на высоте на 35 м!

$m = \int_0^H \rho(z) dz$; $\frac{dp}{ds} \approx c^2 = \text{const}$; $\rho = \rho(p(z)) \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{d\rho}{dz} = \frac{d\rho}{dp} \cdot \frac{dp}{dz}$, $\frac{dp}{dz} = \rho(z) \cdot g \Rightarrow \frac{d\rho}{dz} = \frac{1}{c^2} \cdot \rho(z) \cdot g$; $\pi \cdot 0$.

$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{g}{c^2} dz \Rightarrow \underline{\rho(z) = \rho_0 e^{\frac{gz}{c^2}}}$



Теперь масса: $m = \frac{\rho_0 c^2}{g} (e^{\frac{gH}{c^2}} - 1)$;

$m = \rho_0 H_{\text{класс}}$; $m \cdot 0$.

$H_{\text{класс}} \approx H + \frac{gH^2}{2c^2}$, т.к. $\frac{gH}{c^2} \ll 1$;

$(e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2})$

$\Delta H = \frac{gH^2}{2c^2}$; для $H = 4000 \text{ м}$; $c = 1500 \text{ м/с}$; $\Delta H = 35 \text{ м}$;

$\rho_{\text{возд}} = 977 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_{\text{в.о.}} = 999,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$\rho = \rho(S, T, P)$

ρ - для ледяниково:

$\rho = 1 + 10^{-3} (\xi_1 \cdot S + \xi_2 \cdot T - \xi_3 S T + \xi_4 T^2 + \xi_5 P)$

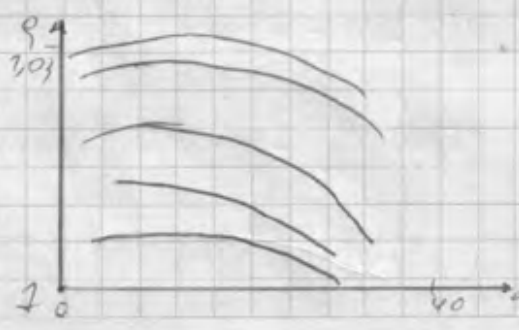
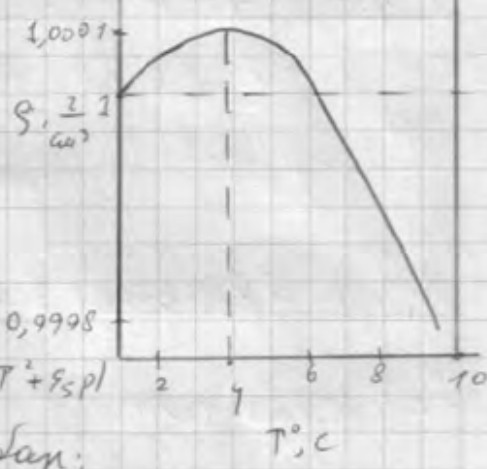
S [%], T [°C], P [гбар] - гелу-бар; (изги-е Рко 1-и)

$\xi_1 = 0,82$; $\xi_2 = 0,0689$; $\xi_3 = 0,0039$; $\xi_4 = 0,00978$;
 $\xi_5 = 4,5 \cdot 10^{-3}$;

Упр-е Келв-Мундиро - 48(!) элн. кохитамт;

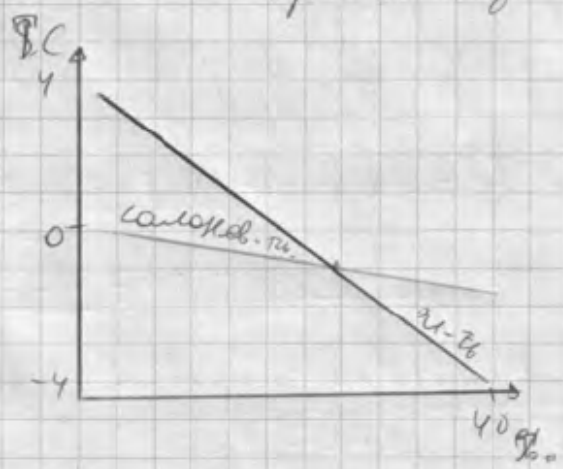
$\rho(S=40\%) = 1,03 \rho(S=0\%)$;

прямая вода.



3.4 Тум - 7,33°C и 24,4% - точка росы ϕ влажности зав. нр. и сар. возд.

Темп. тум-я: $P = 101325 \text{ Па};$
 $T = 243,16 \text{ К};$
 $S_B = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$



Ум. + сает с ум. вод. пара:

$P_0 = S_0 R_0 T, \quad e = S_w R_w T,$

$g \approx \frac{g}{R_0 T} (1 - 0,38 \frac{e}{P}), \quad \frac{e}{P} \ll 1;$

Параметрическая формула:

$dp = -g \rho dz, \quad g = \frac{g}{R_0 T} \text{ (сух. возд)}. \quad dp = -g \frac{g}{R_0 T} dz,$

$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{R_0 T} dz, \quad T = \text{const} + f(z): \quad p = p_0 e^{-\frac{g}{R_0 T} z} \equiv p_0 e^{-\frac{z}{H}}, \quad H = 8 \text{ км};$

H - шкала высоты (выс. орог. атм.); H - сак. запас возд.

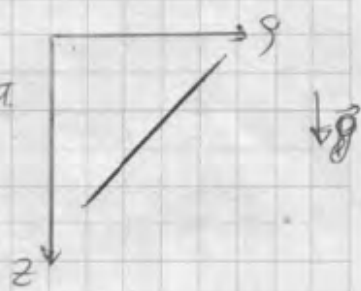
Для неодн. атм.: $T = T(z), g = g(z): \quad p = p_0 e^{-\int_0^z \frac{g(z)}{R_0 T(z)} dz}$

Стратификация - распределение по верт. шайв возд или воздуха с разл. $g; T$ или S и $T-g$.

III. о. критерий уст. и:

$\frac{d\rho}{dz} < 0$ - неуст.; $\frac{d\rho}{dz} > 0$ - уст.

неуст. сарат. по нр. и



Тум $\frac{d\rho}{dz} = 0$ - НЕ Т нейтрального сает;

Градиент (верт.) даетеж
 сумь квадратов:

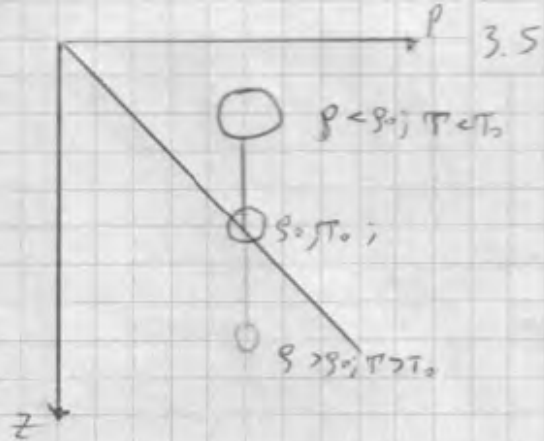
$$\frac{dS}{dz} \Big|_{\text{кейр}} = \left(\frac{dS}{dz} \right)_{\eta} = \left(\frac{dS}{dP} \right)_{\eta} \cdot \frac{dP}{dz}$$

$$\frac{dP}{dz} = \rho g; \quad \left(\frac{dS}{dP} \right)_{\eta} = \frac{1}{c^2}; \quad \eta = 0.$$

$$\underline{\frac{dS}{dz} \Big|_{\text{кейр}} = \frac{\rho g}{c^2} \approx 10^{-2} \text{ м}^2 \text{ с}^{-2};}$$

Потенциальная температура = $\frac{T}{P}$;

Потенциальная плотность = $\frac{\rho}{P}$; (к ати. гдде привез)



Геодезия:

4.1

Лекция №4

В центре земли - Малабар дуби;

Обратные задачи - измеряем снаружи, а находим внутри.

Аратосорен (III в до н. э.) измерил Землю:

Знал, что земля - шарообр.

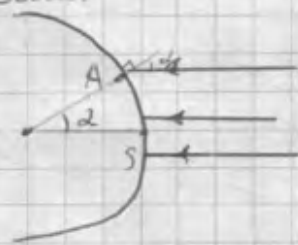
галия:

$AS = 800$ км (от Александрии до Сены (Синус Тарис)).

S - близко к экв.

одно и то же время от - ся угол $\angle AOS$;

$\alpha = 4^\circ$; $L = \frac{AS}{2} \cdot 360^\circ$; $R = 6377$ км (совр. $\bar{R} = 6370$ км)



Кавендиш (1798г.)

$g = \gamma \frac{M}{R^2}$, $M = 5.9737 \cdot 10^{24}$ г; Измерил сточка до 2%!

$\bar{g} \approx 5,45 \frac{2}{\text{см}^2}$; (α изв. как пороги $g \in [0, 2,4] \frac{2}{\text{км}^2}$;

Стеклопутьность земли (в напр. см в г.)

1672 г. - зав. когда маятник часов от широты;

Объемный правильно Кьютон и очертки статие:

$\lambda = \frac{a-b}{a} = 1/230$. (однородная или 3.)

1735 - 1742 г. - экспедиция фр. Лк. Каук. в Перу

Ватландию, измеряли длину дуги в 1° ; $\lambda = 1/314$;

4.2 Меро (74432) Эвков. фигура (неодн. 3)

$$\kappa = \alpha(1 - \beta \sin^2 \varphi), \quad g = g_0(1 + \beta \sin^2 \varphi), \quad \beta = \frac{\alpha - c}{\alpha} < 1;$$

Старк (18492) - теор. осн. гравиметрии;



Ускорение и потенциальная силы тяжести:

$$\vec{F}_{12} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{12}; \quad r_{12} = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2};$$

Потенциальная плотность масс: $V = -\gamma \frac{m}{r_{12}}$

пот. мер. од. масс: $V = -\gamma \int \rho(x', y', z') / r \, dV,$

ко (!) ден. сист. коорд. точки сферы камиш!

Внеш. сист. отчёта: $\vec{\kappa} = \omega^2 \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \vec{n}_\rho$ - центр

Потенциал у. силы:

$$\vec{\kappa} = (\omega^2 x, \omega^2 y, 0); \quad Q = \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2)$$

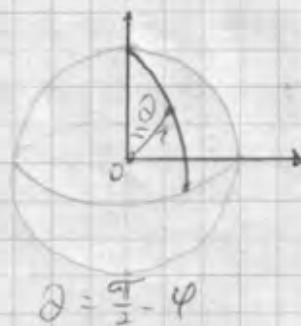
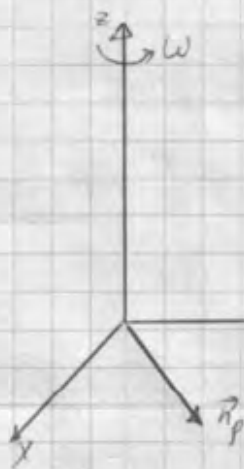
$$Q = \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \varphi; \quad \underline{W = V + Q};$$

$O - y$ и z, O_z, O_x и $O_y - z$. осн. сист.

$$W_p = W(\varphi, \lambda) = \gamma \frac{M}{r} \left[1 - \sum_{n=2}^{\infty} J_n \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{a}{r} \right)^n P_n^0(\sin \varphi) + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^n \left(\frac{a}{r} \right)^n \times P_n^m(\sin \varphi) \right] \\ \times [C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \varphi$$

z - галлетта, P_n^m - присоед. ф-ии

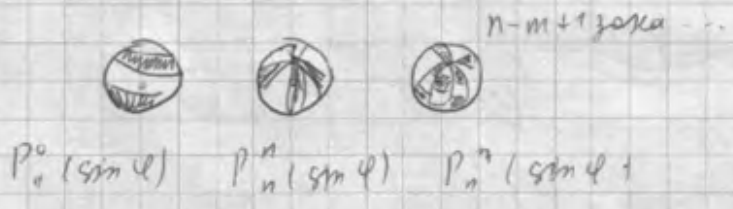
Лежандра; коэфф. спр. коэфф.



Y_n, C_{nm}, S_{nm} - разл. интервалы объема 3.

$P_n^n(\sin \varphi) = P_n^n(\cos \theta)$ - приклад гр-ии Лежандра, $m \in n$;

Может-о. учесть кероавности;



По воздушн. орбит спутников спр. координ. (> 400)
 $n \leq 30, m \leq 18$; ~ 7000 км и более - разреш.

- 1) Координ. Y_2 спр. с большой точк. $Y_2 = 1,08265 \cdot 10^3$,
- 2) От координ. лежат в инт. $10^{-6} \div 10^{-8}$;
- 3) Плечётные координ. $\neq 0$, (иде если бы 3-мерн. S_{nm} , $nm \leq n$)

П.О. Y_2 - спр. сн с плоскостью земли, 7-е. 1

Земитич. приближн. - e - велика точное;

Земля не явл. "жидкой", есть кероавноб. воздушн., 3
возд. внутри напяртженя.

Грав. поле над океаном:

Эквипотенциальная пов-ть. $W = const - \text{геоид}$;

Спутниковая альтиметрия. (Δh)

$\Delta h \rightarrow \Delta g$; гр. поле над океаном

с разр. в 25 ~ 30 км (Δr) исслед.



4.4 Из астро. наблюдений зная прецессию (пост.)

$$H = \frac{C-A}{C} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ (ибо полярный экв. мом. инерции не}$$

Полярный мом. инерции: $C = \frac{1}{2} M a^2 = 0,33078 M a^2$

(для одн. шара $C = 0,4 M a^2$)

→ Период прецессии ≈ 20000 лет.

сп.о. $C < C_{шара}$! \Rightarrow неодн. в центре плотностью
но растёт;

Грав. аномалии и строение 3. коры, Геодезия:

$$[g] = [L][T]^{-2}, \quad 1 \text{ гал} = 1 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2} \quad (\text{в честь Галилея})$$

Обс. изм-я: точн. $\sim (1-2)$ мкгал, т.е. до 10^{-9} г.
(типично Маллени-Амбурга)

Гравиметр - прибор, изм. ил. отклонительное укл. в
(струна (шариком), изм. сдв. геодези. струны)

точн. $0,1 \pm 5$ мгал; $\Delta g = g - g_n$; g_n - норм. поле для
данной широты;

$$g_n^H = g_0 \left(1 - 2 \frac{H}{R}\right)$$

поправка в норм. поле сши

так. с высотой;

$$\Delta g_{об} = g - g_0 \left(1 - 2 \frac{H}{R}\right) \text{ т.о. Масштабы: } g_n = 983 \text{ гал}$$

$$g_0 = 948 \text{ гал}$$

$$|\Delta g_{об}| \leq 50 \text{ мгал, т.е. } 5 \cdot 10^{-5} \text{ г};$$

Задача стр. пн-и - обратная (!) неоднозначная.
Без дан. и коры - никак!

Изостазия:

$L < L_{теор}$;

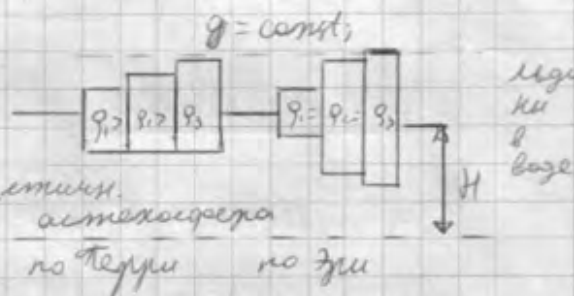


855 - шикотезои. (Сэр Джордж Эрик Траут) держат камни;

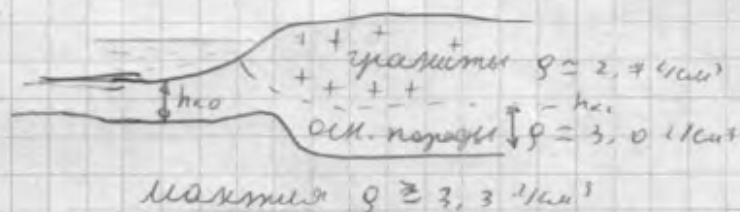
Горы не высятся (не сильно) на маятник!)

H - глубина компенсации;

$$\int_0^H \rho(z) dz = \rho_{ср} H;$$



$\rho_{ср}$



по Фирри Т.О.

погружается;

кора (более лёгкая, чем магма) под кокет толще, \leftarrow
 едем под морем!

Изостатич. компенсация оуцу по схеме Фирри.

Аномалии в свободном воздухе над изост. скам или
 горным хребтом:

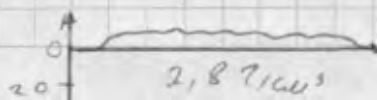
"горы гор" легче, нежели верш.

Схема Фирри: Анды, Серра-Невада,

Пирен...

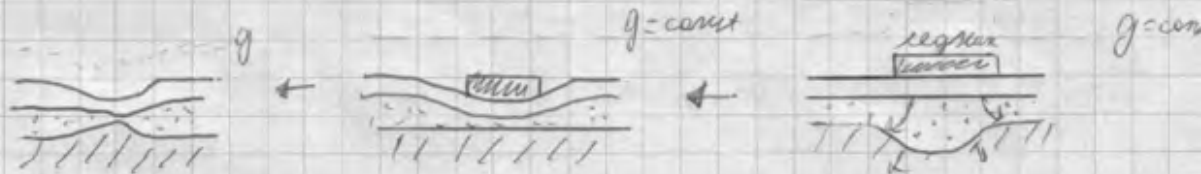
Схема Траутта: вулк. ос.-вогтского ос., хребты С.И.А.

Вадан с Ин. остр. $\Delta \rho_{об} < 50 \text{ кг/м}^3$;



4.6 Тектонизм статич. движение земной коры;

Обн-а, свободод-я от ледника - поднимается $1 \text{ до } 10 \text{ см/л}$



Астеносфера - вязкий слой земной коры;

Кинематич. вязкость Астеносфер: $4 \cdot 10^{29} \text{ см}^2/\text{с}$;
(100-175 км)

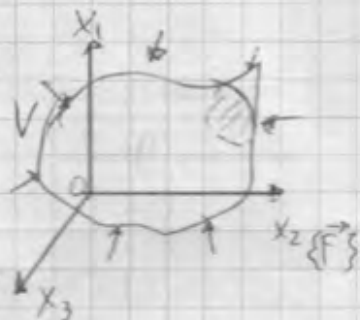
Ост. мантии ($h > 175 \text{ км}$) $> 1 \cdot 10^{29} \text{ см}^2/\text{с}$;

Сейсмология

Частотный диапазон сейсм. волн: $\approx 0,01$ Гц и более до 10^4 Гц.

Сейсмограф - маятник (с зат.), регистрир-ий кач.-земл.
 $[T \in [2; 5] \text{ с}]$

Напряженность:

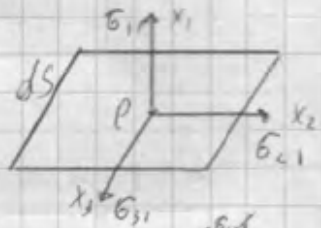


$\{F\}$ - акт. внешн. сил.

Пусть $P(x_1, x_2, x_3)$ - произв. точка внутри V .

Три вз. перп. пл-и с нормальными: $\vec{n}_1, \vec{n}_2, \vec{n}_3$ соств.

b_{ij} , i - напр. напр.,
 j - норм. к пл-и



$$\vec{n} = (\cos(n, n_{x1}), \cos(n, n_{x2}), \cos(n, n_{x3}))$$

Тензор напряжений b_{ik} :

$$b_{ik} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix}; \quad b_{ik} = b_{ki}(x_1, x_2, x_3)$$

b_{ik} - симметр. тензор II р.

Диагон. эл. (b_{11}, b_{22}, b_{33}) - нормальные (раст. или ст.)

Недиаг. эл. - касательные напр.

Выберем с.к., в кот. диаг. напр. равны нулю будут.

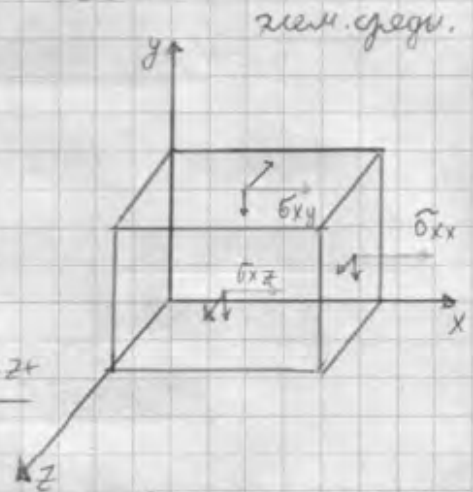
5.2 Ко тачно водж. сот. иотко едигуро дот влек тосет ск
 внобратн, о в обуем сл. - ожа в к. тачко сват.

ρ - з двитж. тлошкоч среди:

Дла ош $x \cdot z$ к.:

$$\Delta V = \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z,$$

$$\rho \cdot \Delta V \cdot \frac{\Delta U_x}{\Delta t} = \Delta \sigma_{yx} \cdot \Delta y \cdot \Delta z + \Delta \sigma_{xy} \cdot \Delta x \cdot \Delta z + \Delta \sigma_{xz} \cdot \Delta x \cdot \Delta y, \quad (F = \sigma \cdot S)$$



$\Delta \sigma_{ik}$ - обо разкншо шш, прш. к протнвоп. гражш,
 Поделнш кш ΔV и $\Delta V \rightarrow 0$:

$$\rho \frac{\partial U_x}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \quad (dV \sigma_{ki})$$

шш:

$$\rho \frac{\partial^2 U_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k}$$

($\sigma_{ik} = \sigma_{ki}$) шшш $m\vec{a} = \vec{F}$.

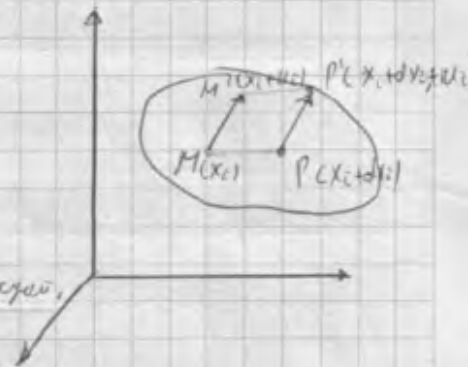
$i = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3;$

Реорформашш:

Моршо пок - шш, шш:

$$|M'P|^2 - |PM|^2 = 2U_{ik} dx_i dx_k \quad (шшш.)$$

$$U_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_k} + \frac{\partial U_k}{\partial x_i} \right) \text{ - тензор дегорформашш,}$$



Об-ва:

1) Длар. ш. ($\frac{\partial U_i}{\partial x_i}$) - шшш. гдш. по ош $dx_1, \dots;$

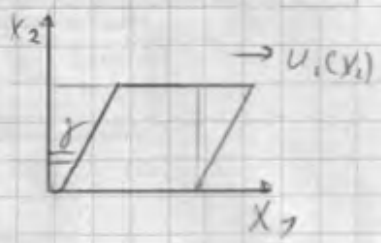
2) Шшш длар. ш. ($\sum_{i=1,2,3} \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = \theta = \frac{dV' - dV}{dV}$) - шшш шшшшшш шшшш

$$dV' = dx_1 \cdot \left(1 + \frac{\partial U_1}{\partial x_1}\right) dx_2 \cdot \left(1 + \frac{\partial U_2}{\partial x_2}\right) dx_3 \cdot \left(1 + \frac{\partial U_3}{\partial x_3}\right), \quad dV = dx_1 \cdot dx_2 \cdot dx_3;$$

3) Длар. ш. - шшшшшш дегоршшшшшшшш;

$$\gamma = \text{tg } \delta = \frac{\partial u_1}{\partial x_2}$$

Закон Гука:



Для ур-я волны надо связать экстр. кин. и тензор. деформ. (закон Гука)

Определяющее соотношение

Определяющее уравнение среды (уравн. колебл. среды)

$$F(\sigma_{ik}, U_{ik}, \dot{\sigma}_{ik}, \dot{U}_{ik}) = 0 \quad (\text{малые деп., линейн.})$$

Упругая среда:
$$\sigma_{ik} = \kappa \cdot \Theta \cdot \delta_{ik} + 2\mu (U_{ik} - \frac{1}{3} \Theta \delta_{ik}) \quad (3)$$

κ - модуль всестороннего сжатия, в случае волн сж.;

μ - модуль сдвига;

$$\sigma_{ik} = -p \delta_{ik}; \quad \Theta = 3U_{ii}$$

если имел в виду:

σ_{ik} - шиваи (тензор);

$$\sigma_{ik} (i \neq k) = 2\mu U_{ik};$$

$$(T.O.) \quad p = -\kappa \cdot \frac{3U_{ii}}{3};$$

T.O. κ - прот. между P и U или V .

$$[\kappa] = [\mu] = [\tau] = \frac{H}{m^2};$$

Объемные сейсм. волны:

В безупр. упр. теле 2 типа волн распр-ся.:

1) волны сжатия - растянжения; "продольные" волны

2) волны сдвига "поперечные" волны; P-волны (primary)

S-волны (secondary)

Подставляя в уравнение (1), закон Гука (3): (P-волны)

$$\rho \frac{\partial^2 U_i}{\partial t^2} = (\kappa - \frac{1}{3}\mu) \frac{\partial \Theta}{\partial x_i} + 2\mu \frac{\partial U_{ik}}{\partial x_k};$$

теперь выходя $\frac{\partial}{\partial x_i}$ и (4)

можно три ур-я получить.

5.4 Уравнение волновое (P-волна)

$$\rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \left(\kappa + \frac{4}{3} \mu \right) \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x_3^2} \right)$$

θ - сумма диаг. эл-ов тензора деф. (эл. деф.)

Скорость P-волны: $C_P = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3} \mu}{\rho}}$

Там же однокл. случай (x): $\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = C_P^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$

Т.к. θ - отклон. ил. в объёме,

то имеем волны статия-растяжк; т.е. решение $\theta = f(x - C_P t)$

Существование S-волн:

(берём ротаци от (4))

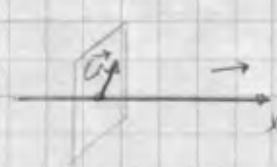
$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = C_S^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad \varphi = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right)$$

(где ось x)

решение: $\varphi = g(x - C_S t)$

$C_S \neq C_P$; в горк. порядке:

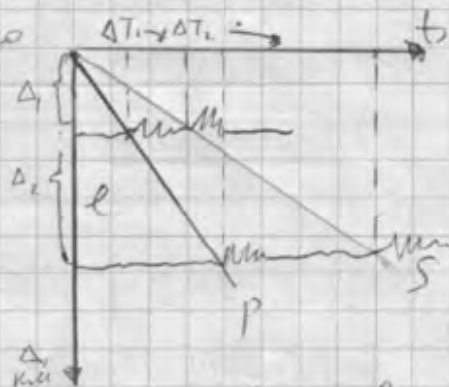
$V_P \in [3; 8] \text{ км/с}; \quad V_S \in [2; 5] \text{ км/с};$



Определимо координат эпицентров землетрясений:

Тл.о. близкое от удалённого можно различить.

А по записи 3х станций - эпицентр определяется.



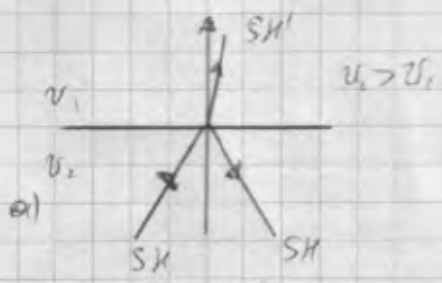
Распространение объёмных сейсм. волн. в 3:

1) Отражение и прел. на гр. раздела (режиме гр.)

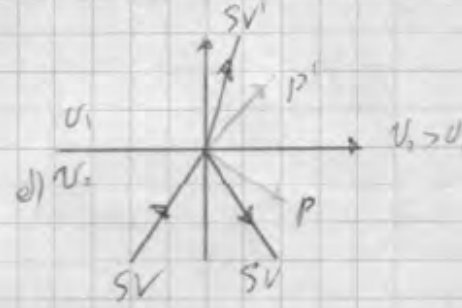
⇒ Ко при $\lambda \ll L$ - постоје ка грав. вртљиву вртљиву. S.S

Возникновение об. волн:

SH и SV - две S волны, вектор смещения по-разному ориент к гр. п; (как в 7-м. волнах)

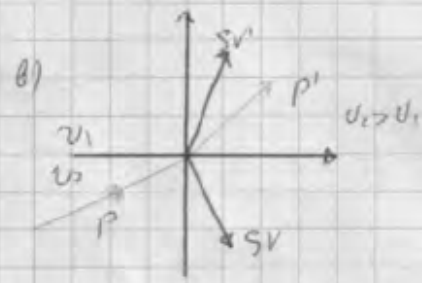


в SV - век. смещ. ⊥ раздлу,
в SH - век. смещ. || гр. раздл.



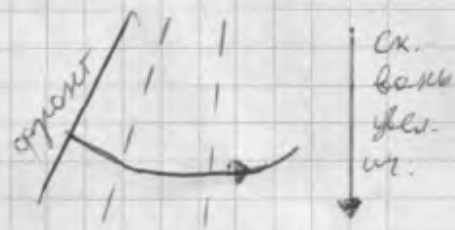
Обиерная волна - при отраж. возникают 2 волны другого типа.

(б → P - обн. волна, в → SV - обн. волна).



Рефракция (искр. лучей в среде)

В земле ск. растут с глубиной, т.о. рефр. - часто встр.



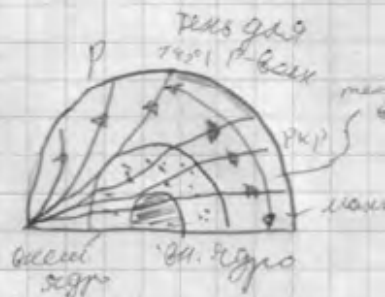
Геофизика

Секция P-S

PкP - через край ядра;

PкIP - через оба ядра;

PсP - от от ядра;



Теперь \Rightarrow диаметр ≈ 900 км - у планеты

и ядра Земли, т.е. ядро жидкое, ибо P-волны - X.

Но внутри есть еще и внутреннее твердое ядро,

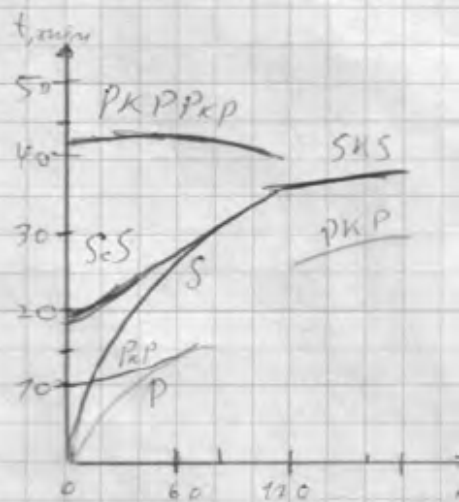
кот. наблюд. в сейсмогр-ах в виде грунтовых волн.

(переходы P-S возможны, как мы знаем).

Годограф:

Δ - эпицентральной разлит;

SсS - попер. волна, прох. через планету \rightarrow пр. через ядро \rightarrow попер.



Задача годографа: $v_p(h), v_s(h)$ - задача обратная.

Решение. однозначно, если $\frac{dv}{dh} < 0$ везде, т.е. если

скорости в Земле растут.

Б.2 ст. 0

- 1) Внешнее ядро жидкое;
- 2) и т.д.

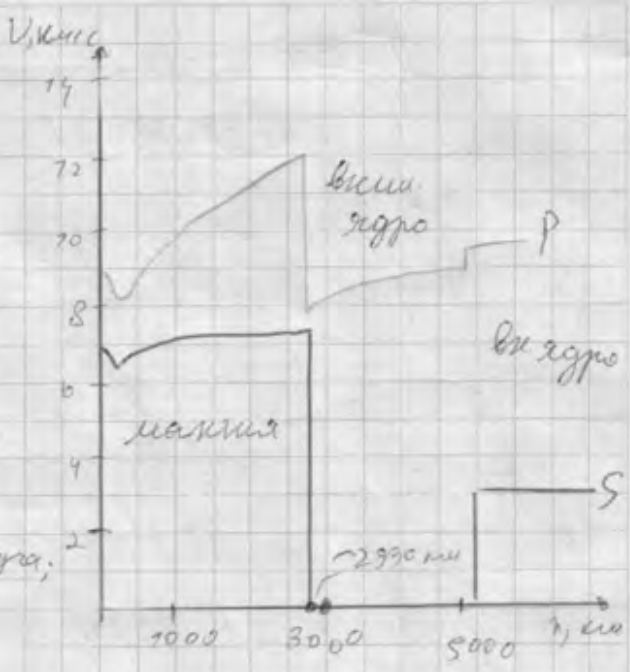
Закон преломления лучей:

$$\text{const} = \frac{\sin \delta_1}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_2} = \dots = \frac{\sin \alpha}{c_n};$$

$$p = \text{const} = \frac{r \sin \delta}{c} - \text{параметр луча};$$

p - для опр. луча (угла вект.)

p - производная географа $\frac{dr}{ds}$



Метод Ферманна - Вихерта:

Тел-е применимости $\frac{dc}{dr} < \frac{c}{r} \Rightarrow t = t(\Delta)$ одн. ф-ия;

(Т. е. ск. изм, но не слишком быстро)

Водру точку з луча не приходят!

Только объёмная есть ещё и волны на границе.

Пверхностные волны:

Волновое уравнение можно решить и для одн. п. волн:

$$\Theta = A e^{i(kx - \omega t)} - \text{объёмные волны};$$

$$\left(k > \frac{\omega}{c_{ps}}\right) U_z(r, s) = B e^{-2\sqrt{k^2 - \frac{\omega^2}{c_{ps}^2}} \cdot s} \cdot e^{i(kx - \omega t)}, \text{ - поверхностные волны}$$

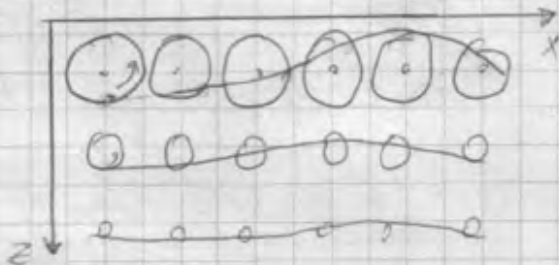
Амплитуда с глубиной убывает;

Волны Рэлея:

пов. волны на полупространстве со свобод. границей
(границы раздела в упр. среде нулевой)

Формы сжатия, растяж и сдвига;

$v_{Rz} < v_p$



Волны Лява:

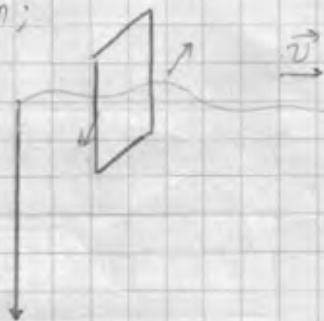
Слой на полупр-ве; св-во слоя \neq св-во полу-пр-ва;

$A \sim e^{-kz}$; Число сдвиговых квант n ;

Дисперсия пов. волн:

Убв. волн почти не квант.

$v_R = f_1(T), v_L = f_2(T)$



Диф. связь с пов. волнами на глубины до 150-200 м.
критикают (верхняя матрица, $T \leq 100$ с)

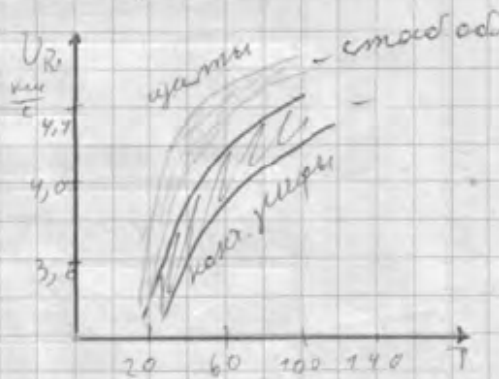
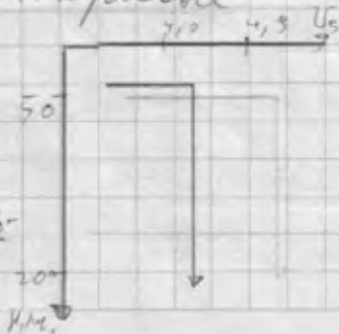
$T_v \sim 1 \pm 10$ с; $T_s \sim 100$ с;

дисп. кривые

Т.О. можем
детально

шмод. рессонанс

все стрессные



Б.4 → Собственные колебания Земли +

Ось Силы Земли - крутилка с.к.з.

Типы:

1) Радиальные : $\vec{U} = u \cdot \vec{n}_r$ (по радиусу)

2) Крутильные : $u_r = 0, \operatorname{div} \vec{u} = 0, (\nabla = \text{const})$

3) Сфероидальные ;

Земля - не просто шарик, поэтому их сложно раскл.

Первые наблюдения - 1952 г.; Периоды : от 10 мин до 1 часа

По этим колебаниям наиболее точные данные о g ;

Распределение плотности в Земле, состав материи ;

Из сейсм. фокусис:

κ - велич. статис.

$$\boxed{V_p = \sqrt{\frac{\kappa + 4/3 \mu}{\rho}}, V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}}, \text{ т.е. } \Phi(\eta) = \frac{\kappa}{\rho}; \Phi = V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2;$$

ρ - сейсмический параметр; $\kappa = \kappa(h)$; $\Phi = V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2$;

т.е. просто по сейсм. данным мы лишь Φ можем отн.

т.е. и ρ мы не отн. ($\kappa = \kappa(h)$).

Измерение g вязкою:

1) Величина давления с глубинкой;

2) Велич. температуры с глубинкой;

3) Изм. хим. состава в зав. от глуб.

4) Сущ. фазовые превращения (в т.ч. калциферосные)
вр. рещ.

1923 г. - Адамс и Вилкинсон показали, что при

$\rho = \rho(P)$ (км. водн. столб; ρ зав. лишь от давления). Б.5

Темп. пренебрегаем (какая температура у нас лишь квадрат. удел. темп.)

По определению: $\frac{1}{\kappa_s} = -\frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_s = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_s$, - сжимаемость

модуль всестороннего (адиабатического)

(κ_T - изот. коэффициент всест.)

$dP = -\rho g(r) dr$; $\frac{P}{\kappa_s} = -\frac{1}{\rho g} \cdot \frac{dP}{dr} \cdot \frac{1}{\rho(r)}$; $g = \frac{g}{r^2} \int_0^r 4\pi \rho(r') r'^2 dr'$
(для сферы, т.е. Земли)

т.е. 0,

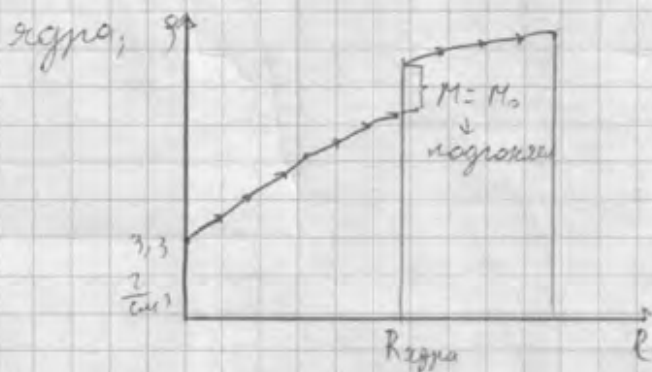
$\frac{d\rho}{dr} = -\frac{g}{r^2} \frac{\rho(r)}{\rho(r)} \cdot \int_0^r 4\pi \rho(r') r'^2 dr'$ - упр. в Вильямсона-Адамса

Если бы земля однородной была $\rho = \rho_0$ действ., то:

$\rho(r) = \rho_0$; $M = \int_0^R 4\pi \rho_0(r') r'^2 dr' \approx 6 \cdot 10^{22}$ з; ($M_3 = \rho_0 V_{сф}$)

$C = \int_0^R \frac{g}{r^2} 4\pi \rho_0(r') r'^2 dr' \approx 8 \cdot 10^{16}$ з. см² - момент инерции;

Методом малых Эйлера; от пов. и до



мал. инерции



С ядра < 0, что a^2

получается, поэтому
лажа с моделью!

т.е. $\rho_x < \rho_{пов}$, что, страшно!

б.б. Мантия (по акалогии (метисоритам)) сост.

из ультраосновных пород: $SiO_2 \approx 45\%$;

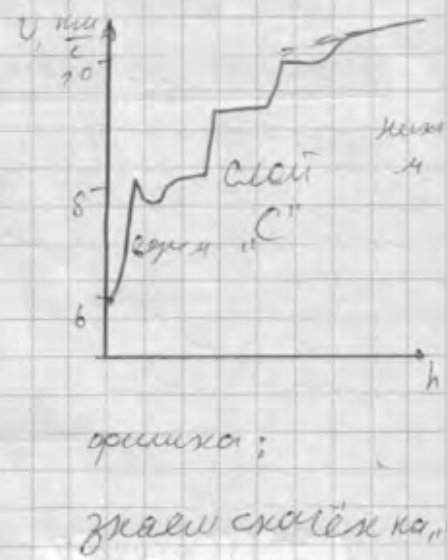
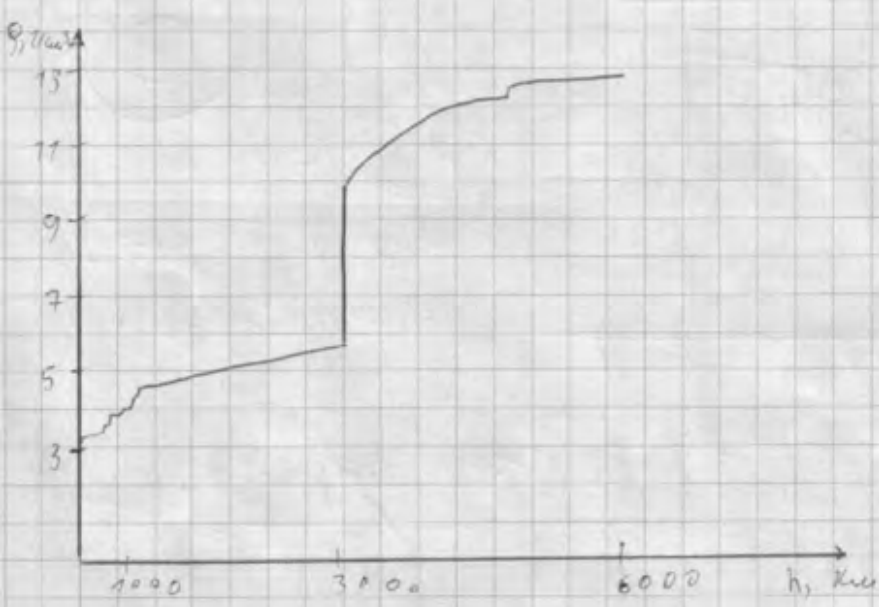
Три разл. P-T усл. одинак и тому же хим. сост. ств. разл. мин. асов.

До 400 км (улт. асов): Оливин ($Mg^{2+}Fe$)₂SiO₄ - 57%
 Пироксен - 29%
 Гранат (пирок) - 14%;

При увел. P пироксен мог реагировать с оливином...

400 км: оливин (гел.) → β мин; $\Delta \rho = 8\%$
 650 км: оливин (вт. разл. пер); $\Delta \rho = 11\%$
 400 км: тр. ф. пер. $\Delta \rho = 4\%$; (теория);

III. о. у Адамс-Вилкинсона когда ч скачка плотности!
 скорости тоже скажут;



граница;
 знаем скачок ко "С"