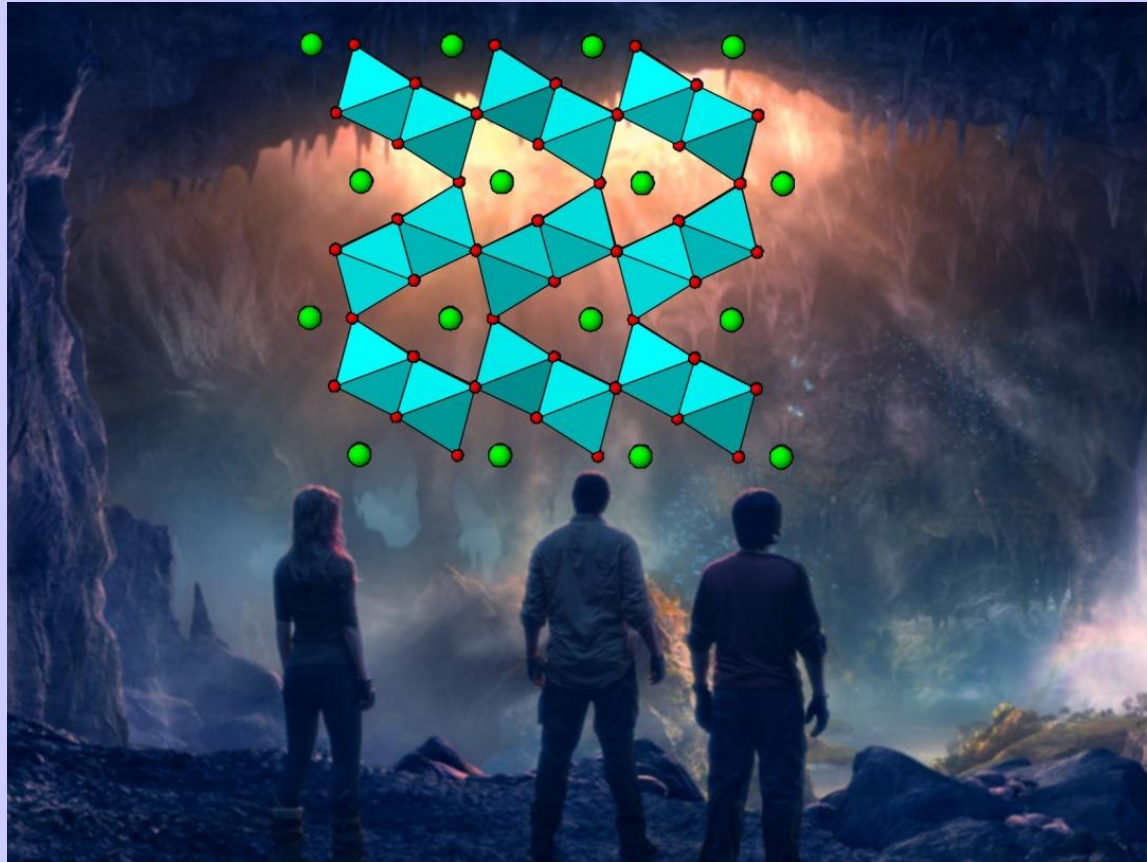


Лекция 13

Полиморфизм-3 или

«Правдивое путешествие к центру Земли» (и не только Земли)



Чему учат в школе

Буквы разные писать
Тонким пёрышком в тетрадь
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.

Вычитать и умножать,
Малышей не обижать
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.

К четырём прибавить два,
По слогам читать слова
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.

Книжки добрые любить
И воспитанными быть
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.

Находить восток и юг,
Рисовать квадрат и круг
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.

И не путать никогда
Острова и города
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.

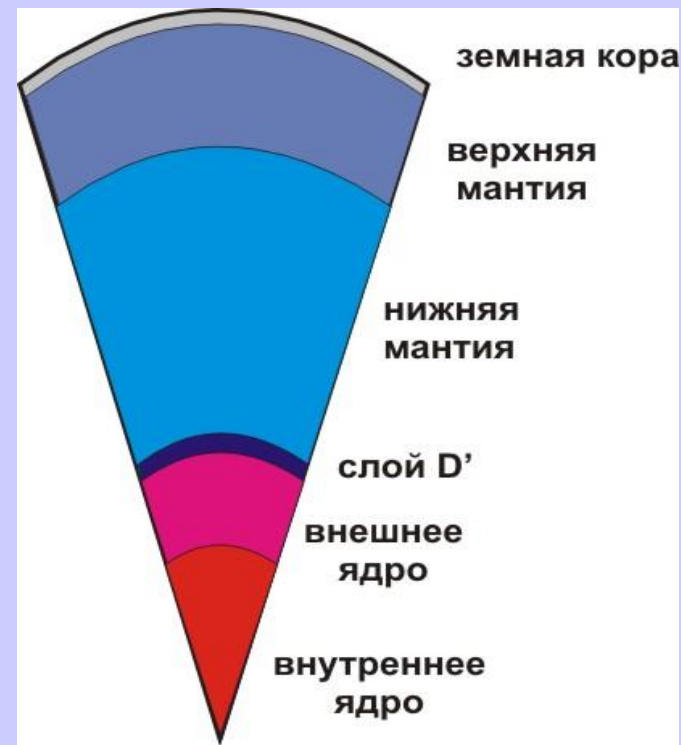
Про глагол, и про тире,
И про дождик на дворе
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.

Крепко-накрепко дружить,
С детства дружбой дорожить
Учат в школе, учат в школе,
учат в школе.



Земля состоит из коры, мантии и ядра

Еще в школе мы привыкли слышать о том, что Земля состоит из коры, мантии и ядра — это представление разработано геофизиками Джеффрисом и Гутенбергом еще в 1926 г.



Однако максимальная глубина, на которую человек смог проникнуть внутрь Земли — всего 12 километров. Откуда мы получаем информацию о вещественном и минеральном составе глубинных геосфер?

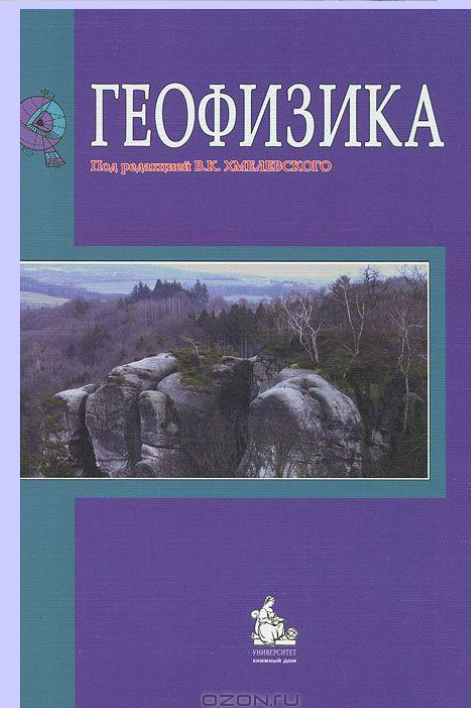
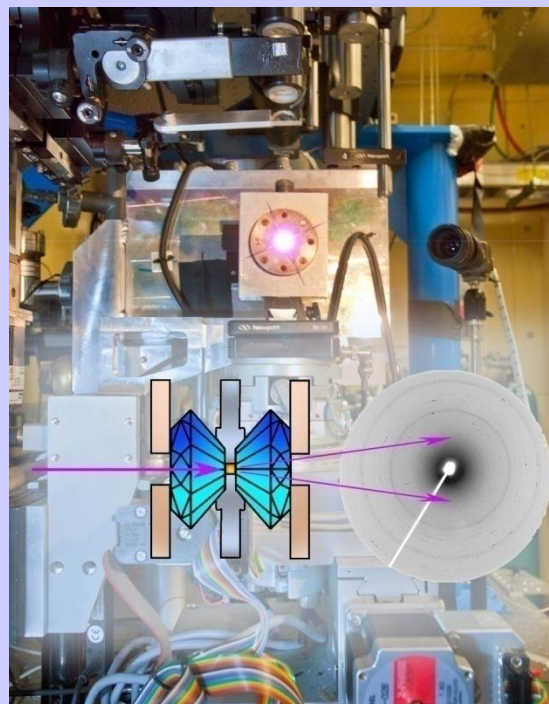
Что на самом деле
(а не в безумном голливудском
фильме) происходит с веществом
в глубине Земли?

Какие структурные
трансформации происходят с
известными нам соединениями в
глубинах мантии?

Источники информации



В 1990 году достигла
глубины 12 262 метров.



Элементы:

- горных пород
- магматических
- эманаций
- группы железа
- Инертные газы
- Редкие
- Радиоактивные
- Металлические рудные
- Металлоидные, металлогенные
- Тяжелые галоиды
- группа платины

п/г	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	H															1	2	He
2	Li	Be	B	C	N	O	F										Ne	
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl										Ar	
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	55	56	*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba	Lan	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	87	88	89	90	91	92												
	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U												
Lanthanides																		
	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			

Законы геохимии
элементов

Давление в Земле

Глубины, км	Давление, ГПа
-------------	---------------

10-50	1.5-2.5
-------	---------

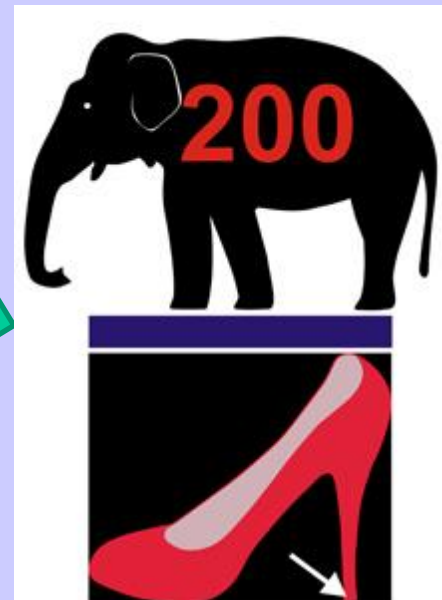
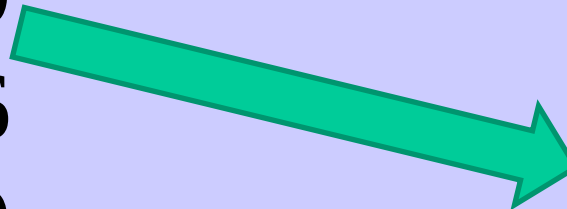
400	15
-----	----

660	25
-----	----

2400	100
------	-----

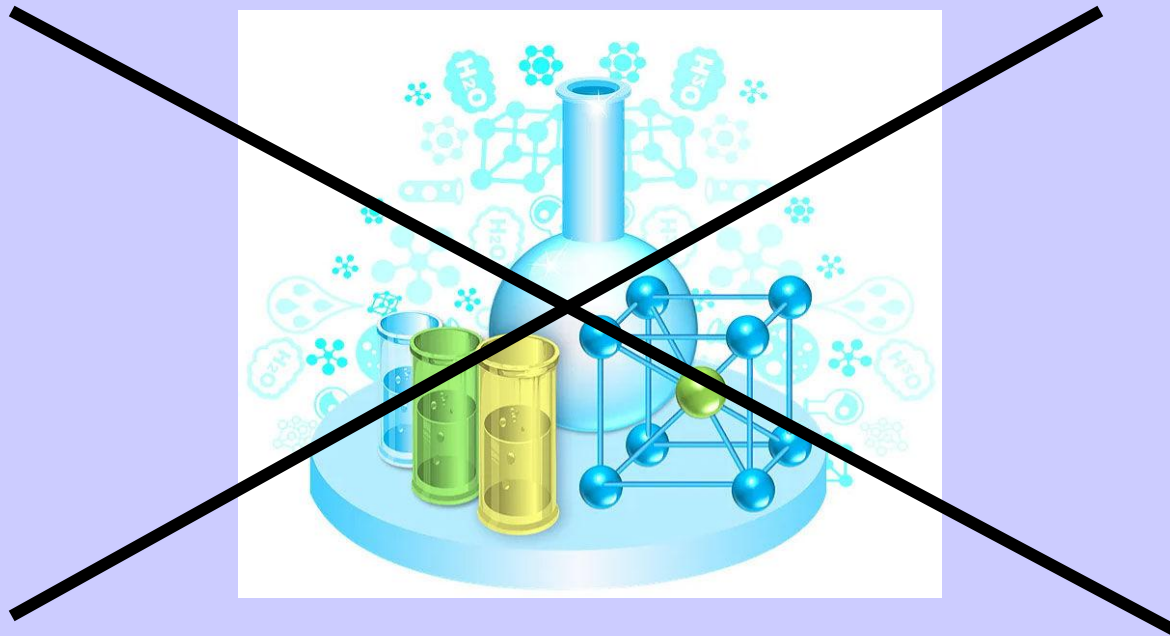
2900	136
------	-----

6371	360
------	-----



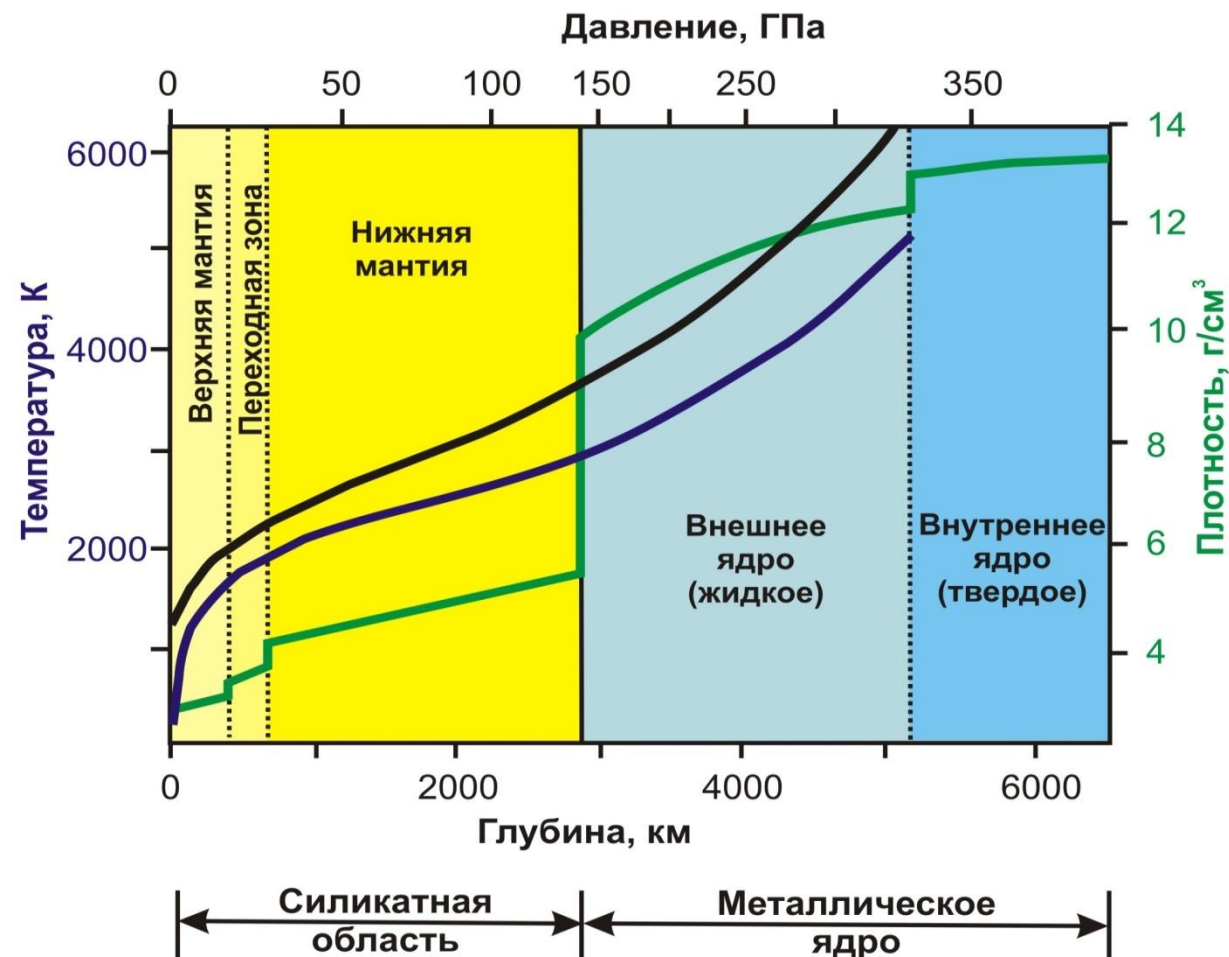
99,9% вещества вселенной находится
под давлением **более 1 ГПа**

**Мы изучаем
абсолютно нетипичную
для вещества галактики
якобы «химию»**

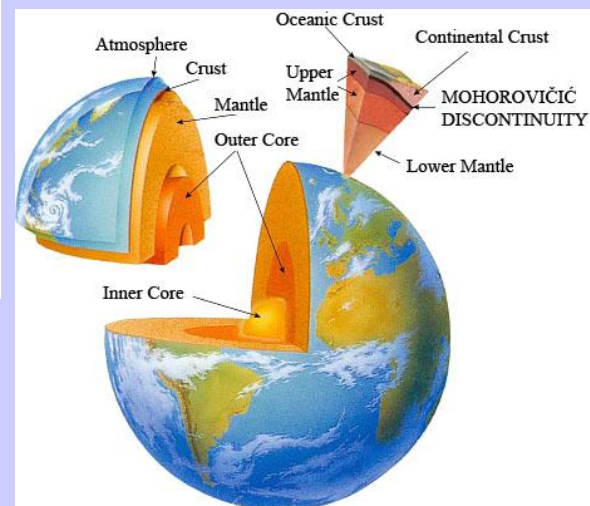


**99,9% вещества вселенной находится
под давлением более 1 ГПа**

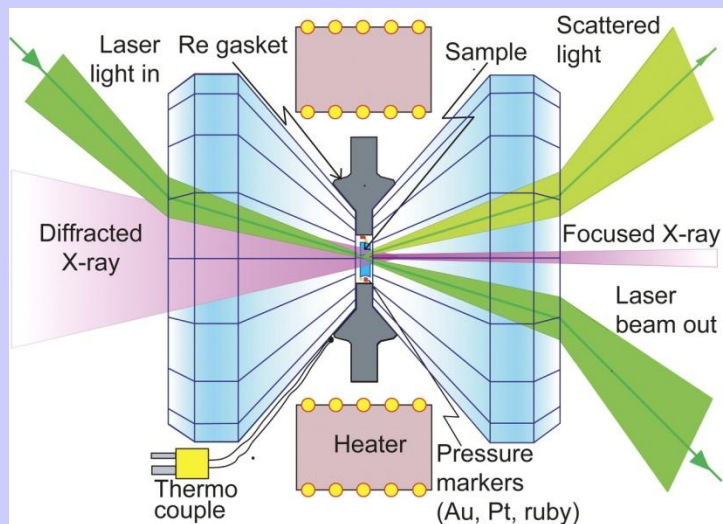
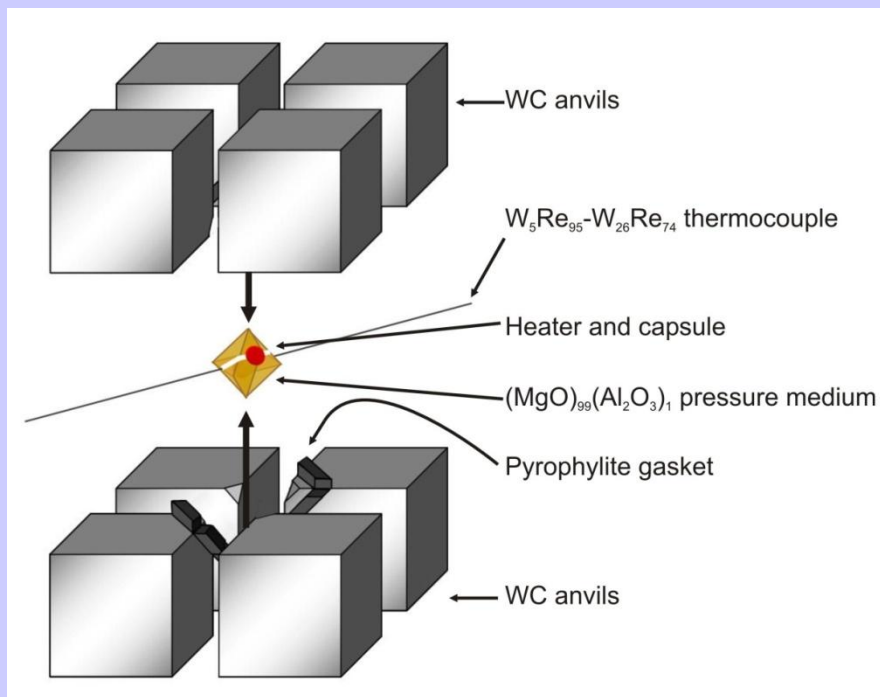
Термодинамический режим глубин Земли



Глубина, км	Температура, К	Давление, ГПа
0	298	10^{-4}
200	1770	6,5
400	1900	14
670	2170	25
1000	2260	40
1200	2360	49
1400	2450	59
1600	2540	69
1800	2640	79
2200	2820	100
2600	3010	122
2900	3040	140
5200	5300	330
6400	6000	365

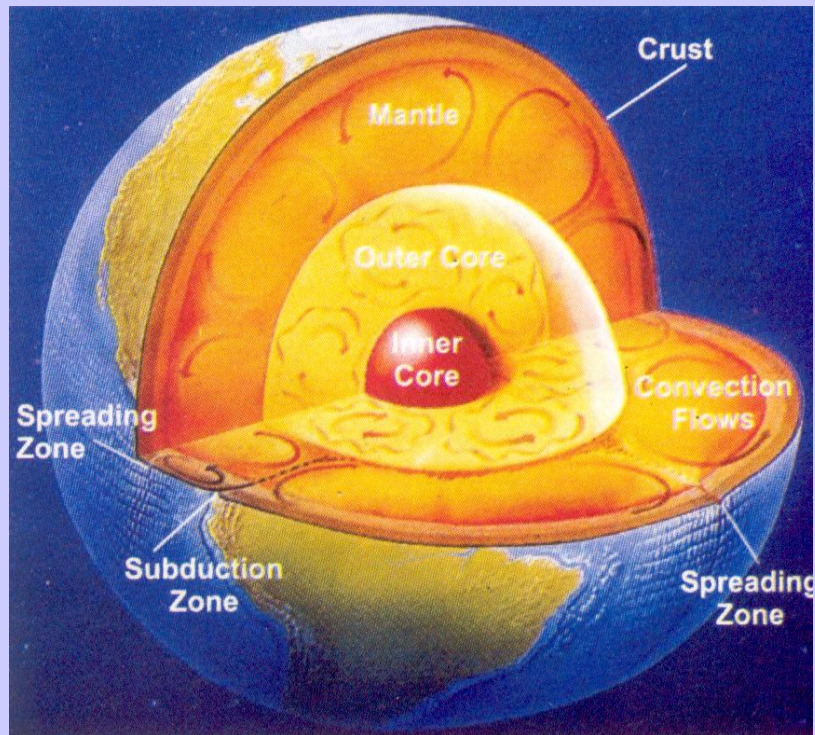


Эксперименты в алмазных наковальнях – 200ГПа!

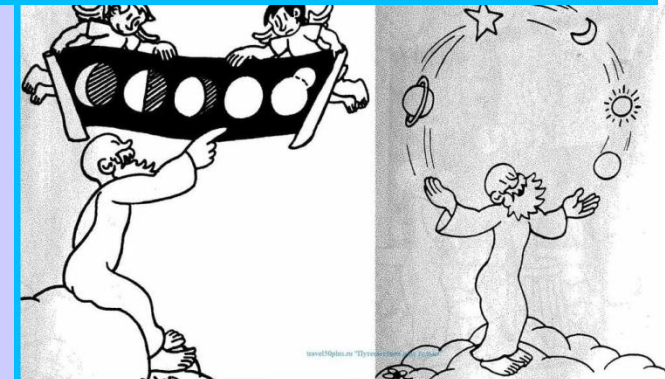


Земля – космический объект

Его химический состав в целом соответствует составу космоса (за исключением потери некоторых «летучих» элементов)



Альтернативу сегодня не рассматриваем...

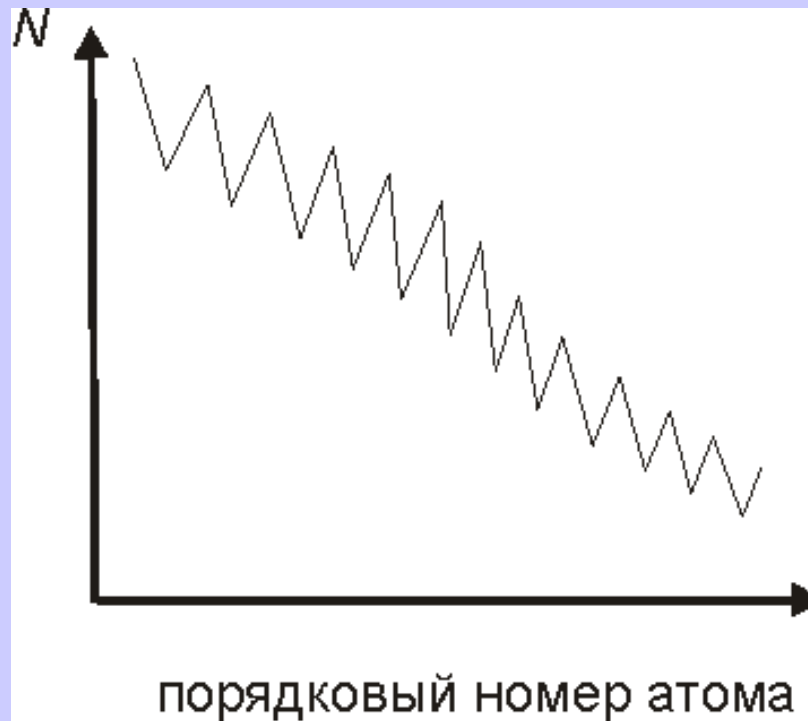


**Все ли химические элементы
одинаково распространены?
Нет конечно.**



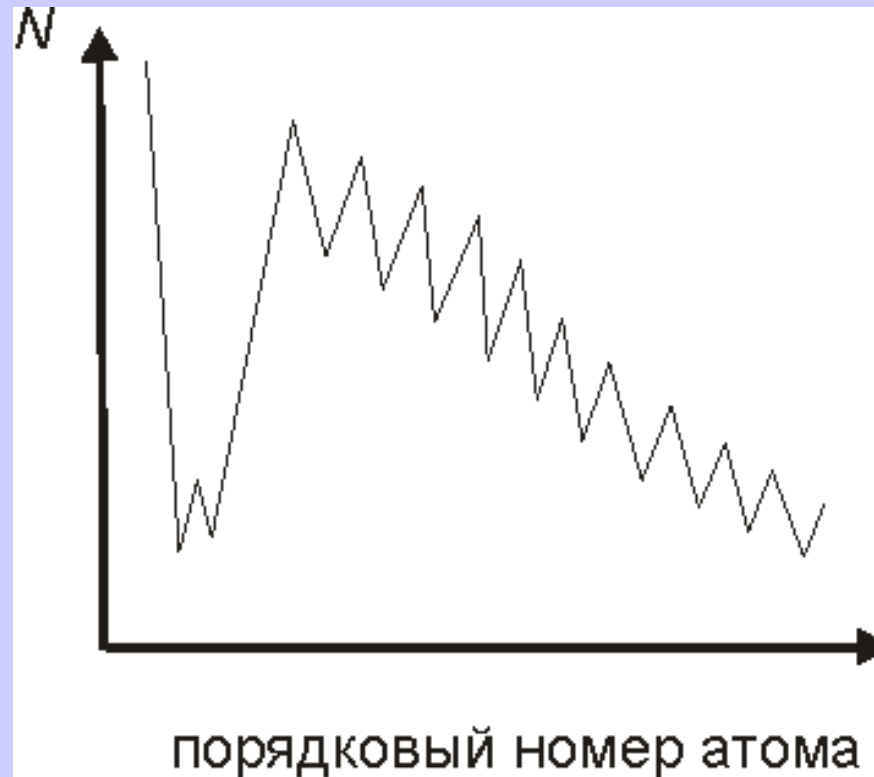
1) Распространенность
(в космосе) экспоненциально падает с ростом порядкового номера

**Все ли химические элементы
одинаково распространены?
Нет конечно.**



2) в 1914 ученые Оддо и Гаркинс обратили внимание на преимущественную распространенность элементов с четным порядковым номером

**Все ли химические элементы
одинаково распространены?
Нет конечно.**



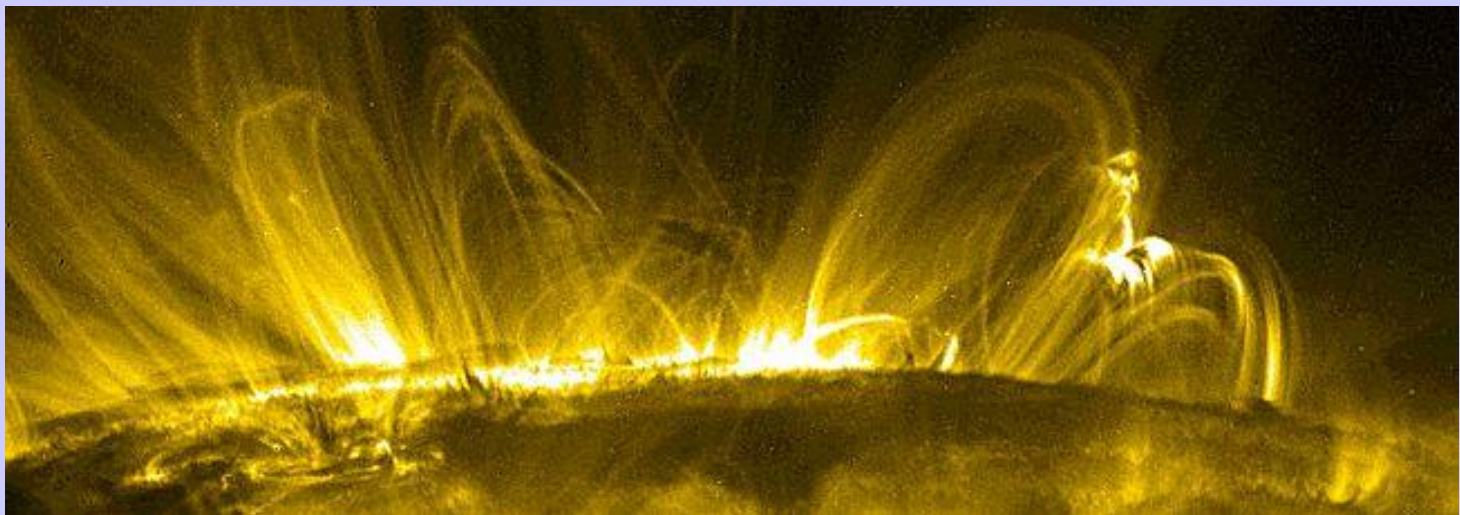
3) Есть аномальный провал на 3-4-5 номерах (Li-Be-B). Их низкое содержание объясняется тем, что эти нуклиды при звездных температурах легко вступают в различные ядерные реакции

Все ли химические элементы одинаково распространены? Нет конечно.

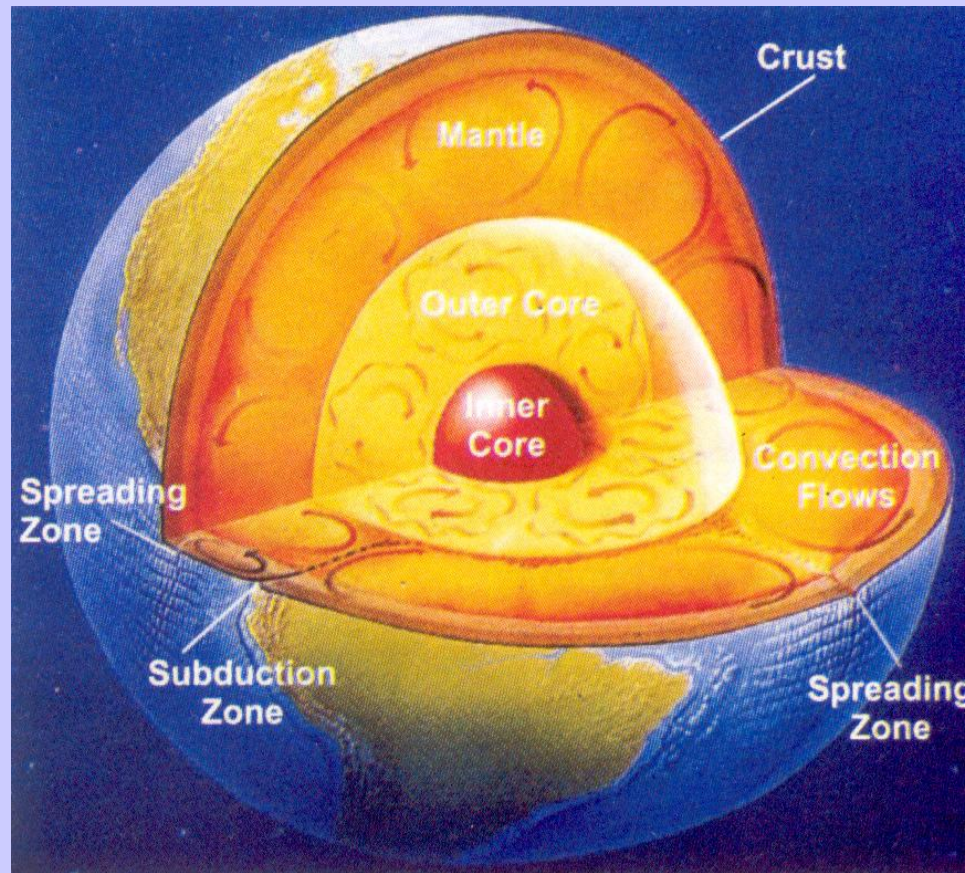


Химический состав Земли

Сравнивая распространенности элементов в Солнечной системе и на Земле, можно заметить резкие провалы в районе He, Ne, Ar, Kr, Xe (инертные газы) на Земле по сравнению с Солнечной системой. Это можно объяснить так: большинство элементов содержатся на Земле в химических соединениях, поэтому удерживаются на планете. Инертные газы в реакции практически не вступают, поэтому легко улетучиваются с Земли вместе с наиболее легкими газами – H и He (диссипация).



Земля – космический объект



Земля – сложно дифференцированный объект. Состав земной коры отличается от валового состава Земли.

Химические элементы на Земле имеют различную судьбу



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II	III	IV	V	VI	VII	()	
1	H ¹																	He ²	
2	Li ³	Be ⁴	B ⁵											C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹	Ne ¹⁰	
3	Na ¹¹	Mg ¹²	Al ¹³											Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷	Ar ¹⁸	
4	K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶	
5	Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Nb ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴	
6	Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	57-71		Hf ⁷²	Ta ⁷³	W ⁷⁴	Re ⁷⁵	Os ⁷⁶	Ir ⁷⁷	Pt ⁷⁸	Au ⁷⁹	Hg ⁸⁰	Tl ⁸¹	Pb ⁸²	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵	Rn ⁸⁶
7	Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²													

1 2 3 4

Рис. 1. Периодическая система и геохимическая классификация химических элементов: 1 – атмосферные, 2 – литофильные, 3 – халькофильные, 4 – сидерофильные

Атмофильные элементы – инертные газы и азот (N_2 – прочнейшая молекула)

Сидерофильные элементы – тяготеют к ядру Земли

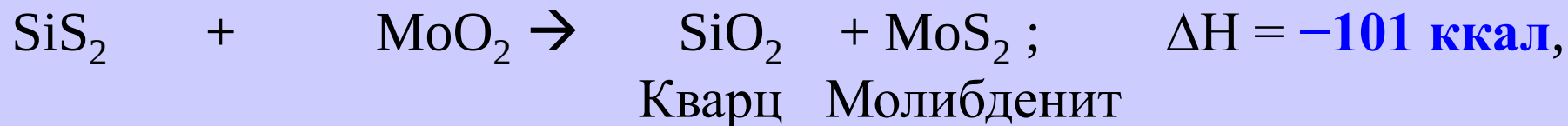
Халькофильные элементы – тяготеют к соединениям с серой

Литофильные элементы – тяготеют к соединениям с кислородом и накапливаются в верхней (шлаковой зоне Земли – литосфере)

Принцип ЖМКО

(у природы полно времени 4,5 млрд лет!)

Смещение обменных равновесий, подчиняющихся кристаллохимическим и термодинамическим законам является тем механизмом, который оставляет в живых лишь самые устойчивые минеральные комплексы

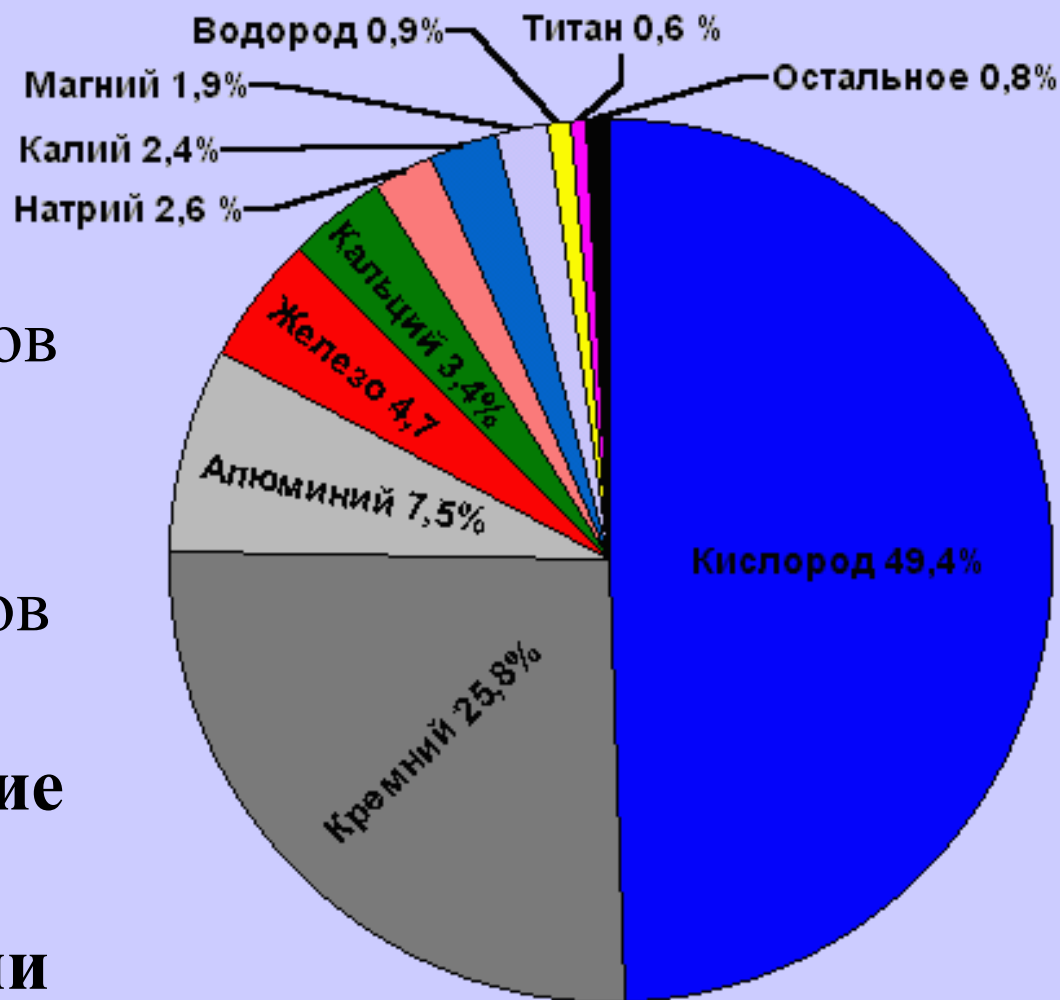


В устойчивой паре здесь оказываются минералы весьма распространенных ассоциаций, тогда как противоположные им пары не встречаются в природе совсем



Состав Земной коры

Содержание элементов
в Земной коре
отличается от
содержания элементов
в Земле в целом,
поскольку **химические
составы коры,
мантии и ядра Земли
различны.**



Наиболее распространенные элементы земной коры

Среднее содержание элементов в породах земной коры, вес. %
(часто называется термином «кларк»)

8 наиболее распространенных элементов

Элемент	вес. %	ионный радиус, Å	объемный %
O ²⁻	46,60	1,40	93,8 !!!
Si ⁴⁺	27,72	0,42	0,86
Al ³⁺	8,13	0,51	0,47
Fe ²⁺	5,00	0,74	0,43
Mg ²⁺	2,09	0,66	0,29
Ca ²⁺	3,63	0,99	1,03
Na ⁺	2,83	0,97	1,32
K ⁺	2,59	1,33	1,83



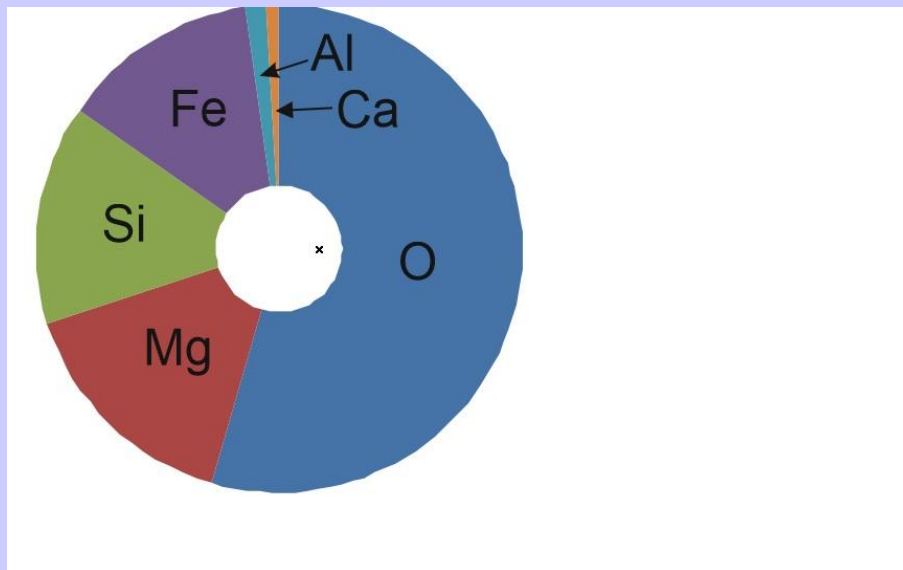
Химический состав Земных оболочек

Element	The Universe [6]	Whole Earth [7]	Earth's Crust [7]	Upper Mantle [7]	Lower Mantle [7]	Pyrolitic Homogeneous Mantle [8]
O	20.10	3.73	2.9	3.63	3.63	3.68
Na	0.06	0.06	0.12	0.03	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
Mg	1.08	1.06	0.09	0.97	1.09	1.24
Al	0.08	0.09	0.36	0.17	0.06	0.12
Si	1	1	1	1	1	1
S	0.52	—	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Ca	0.06	0.06	0.14	0.12	0.05	0.09
Fe	0.9	0.9	0.11	0.14	0.14	0.16
Ni	0.05	—	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-5}$

[7] Anderson, D. L.: Theory of the Earth. Blackwell Scientific Publications: Boston (1989) 366 pp.

Распространенность элементов в мантии Земли

В пересчете на 1 атом Si



В земной коре и мантии:

O - 3.73

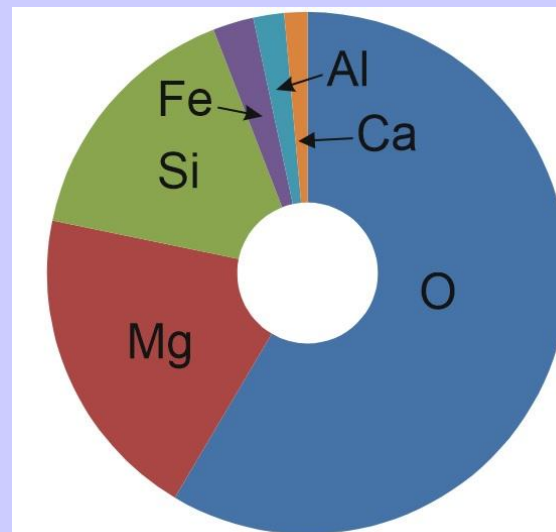
Mg - 1.06

Si - 1.0

Fe - 0.9

Al - 0.09

Ca - 0.06



По пиролитовой
(примитивной)

модели мантии:

O - 3.68

Mg - 1.24

Si - 1.0

Fe - 0.16

Al - 0.12

Ca - 0.09

Глубина,

км

Земная кора

30

410
Верхняя
мантия

670
Нижняя
мантия

2650
Слой D''
2900

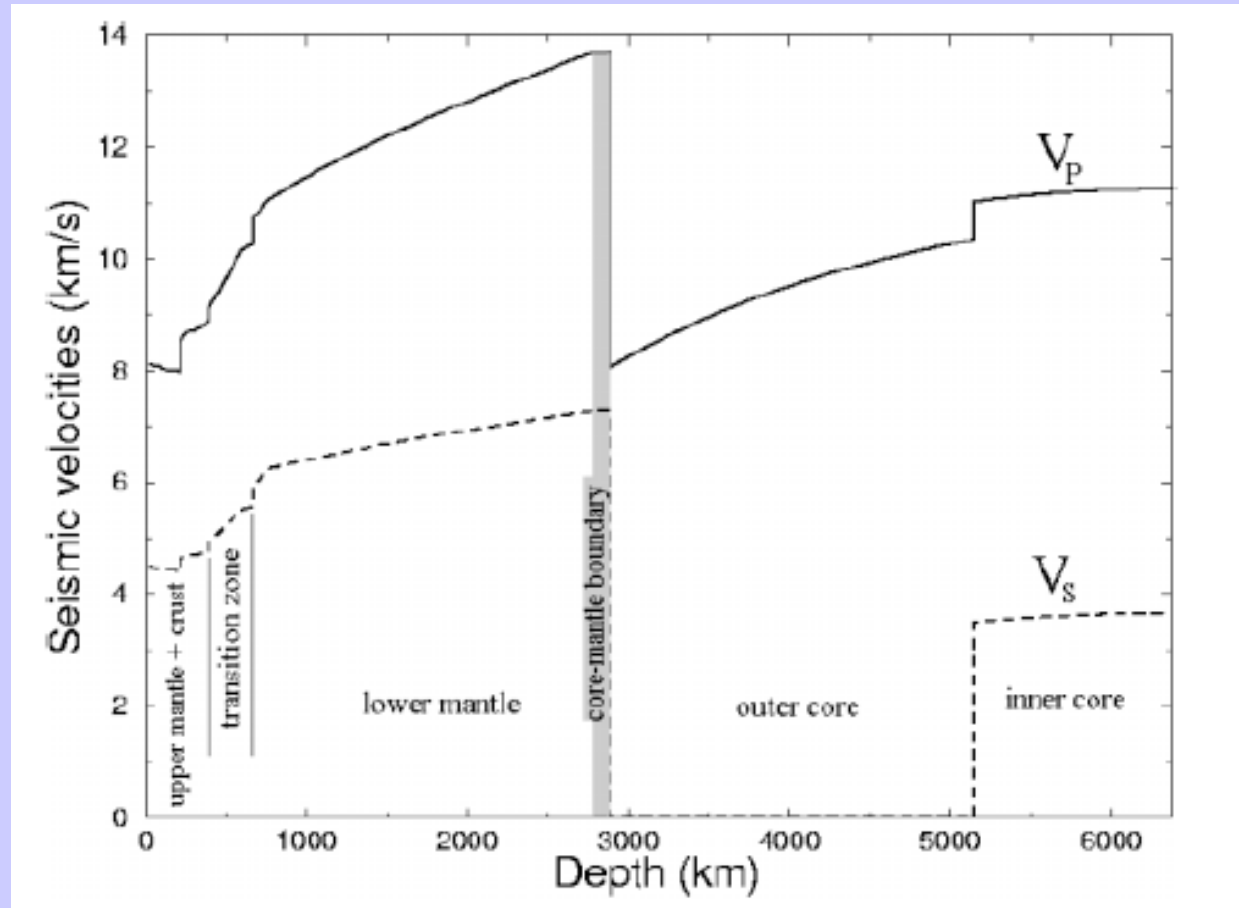
Внешнее

ядро

5146
Внутреннее

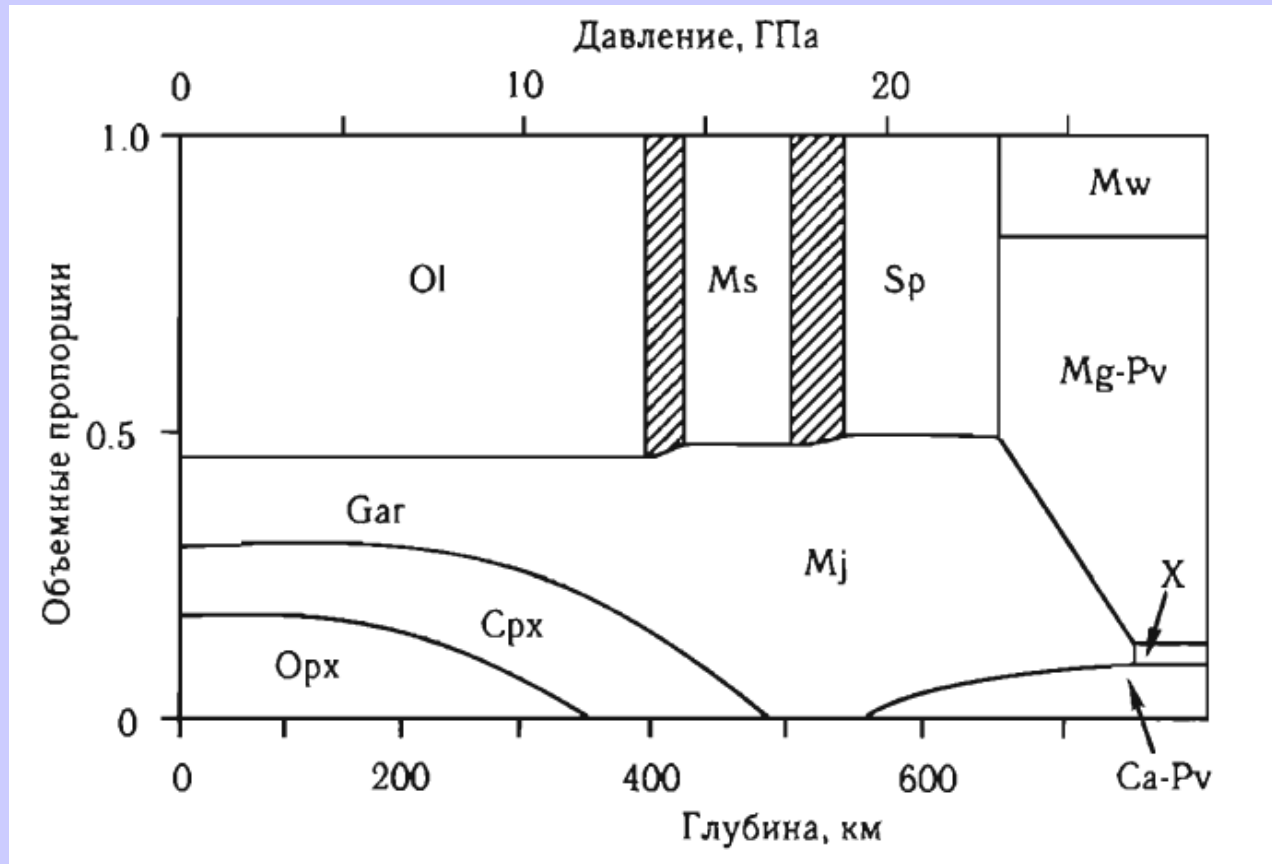
6371
ядро

Сейсмические данные



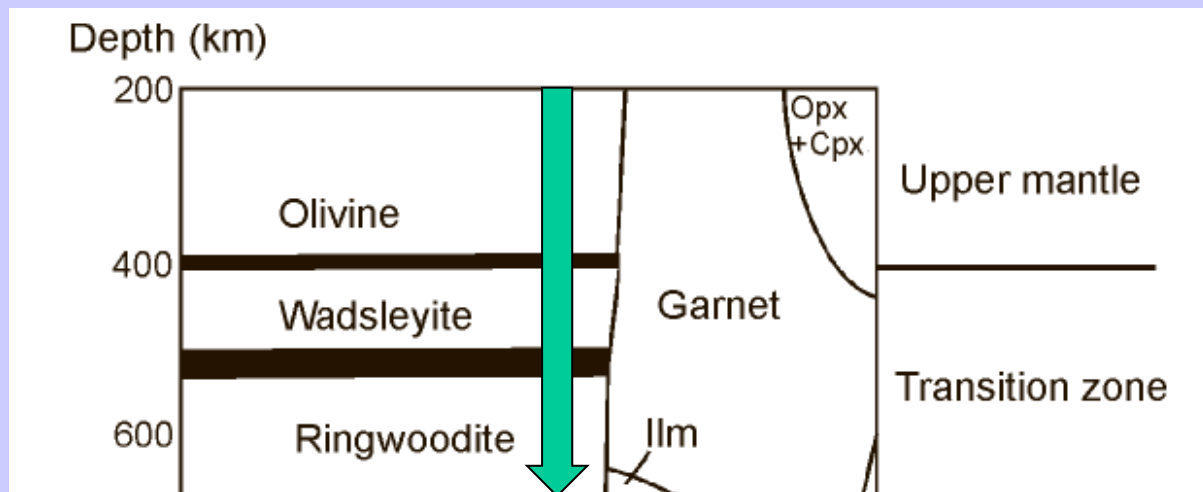
Минеральный состав Земных оболочек

Более 99% вещества во Вселенной находится под давлением, превышающим 1 ГПа

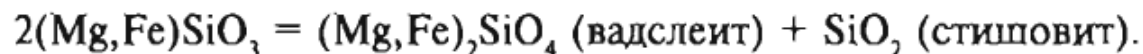


Ol - оливин; Gar - гранат; Crx – моноклинные пироксены ; Opx - ромбические пироксены ; Ms вадслеит; Sp - шпинель; Mj – мейджорит $Mg_3(Fe,Al,Si)_2/(SiO_4)_3$; Mw - феррипериклаз $(Mg,Fe)O$; Mg-Pv – магнезиальный перовскит ; Ca-Pv - кальциевый перовскит; X - предполагаемые Al-содержание фазы со структурами типа ильменита, кальций-феррита и/или голландита

Фазовые трансформации некоторых минералов в переходной зоне $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$



Оливин
→
Вадслеит
→
Рингвудит



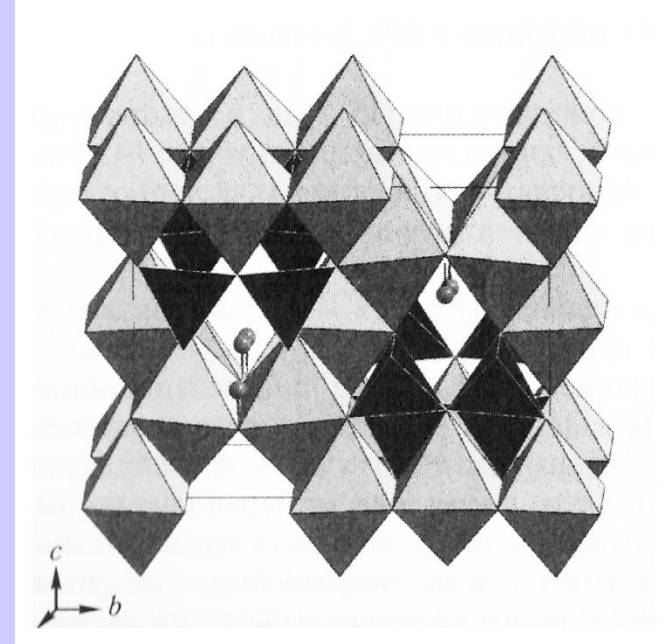
Возможна и такая реакция

Весьма сложная оболочка, ограниченная глубинами 410 и 670 км и называемая «переходной мантийной зоной», преимущественно содержит фазы со структурами типа граната, вадслеита и шпинели, а также, вероятно, твердые растворы $(\text{Mg,Al})(\text{Si,Al})\text{O}_3$ со структурой типа ильменита (**акимотоит**, MgSiO_3).

Фазовые трансформации некоторых минералов в переходной зоне $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

Вадслеит и **рингвудит** рассматриваются как главные аккумуляторы воды в переходной зоне (410-670 км), запасы которой превышают объем Мирового океана. Даже 0.1 мас.% H_2O в переходной зоне **эквивалентно покрывающей поверхность Земли водной оболочке мощностью в 1 км.**

С кристаллохимической точки зрения эта особенность состава формально безводных вадслеита и рингвудита определяется заменой в их структурах *части анионов O^{2-} на гидроксильные группы OH^-* . Предпосылкой для этого в структуре вадслеита служит присутствие атома О, который не участвует в SiO_4 -тетраэдрах, а координирован лишь пятью атомами Mg. Таким образом, сумма валентных усилий на этом анионе - 1.67, что можно объяснить лишь вхождением до 33% группами OH^- и в сочетании с искажением катионных полиэдров.



O^{2-}

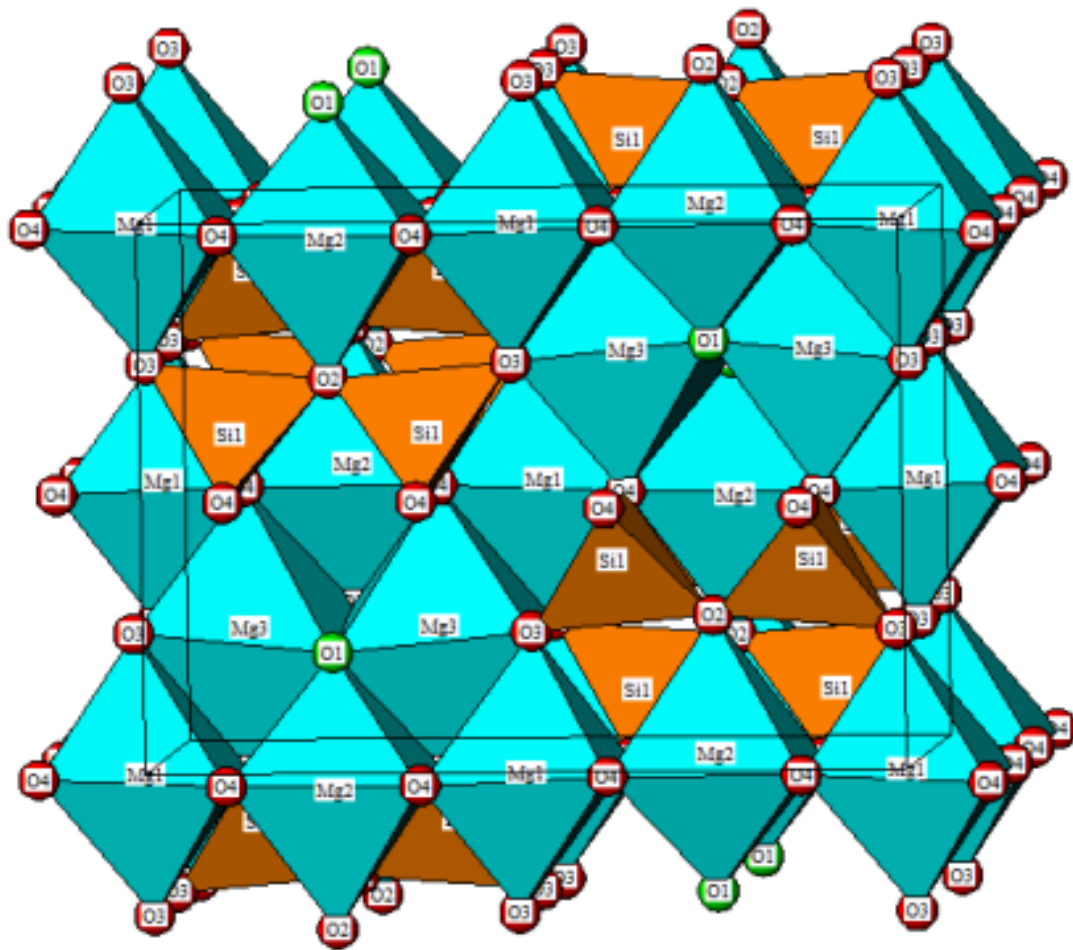


OH^-



F^-





Кристаллическая
структура
вадслетита. ОН –
зеленые (позиция О1)

Фазовые трансформации некоторых известных минералов – SiO_2



Каркасные силикаты

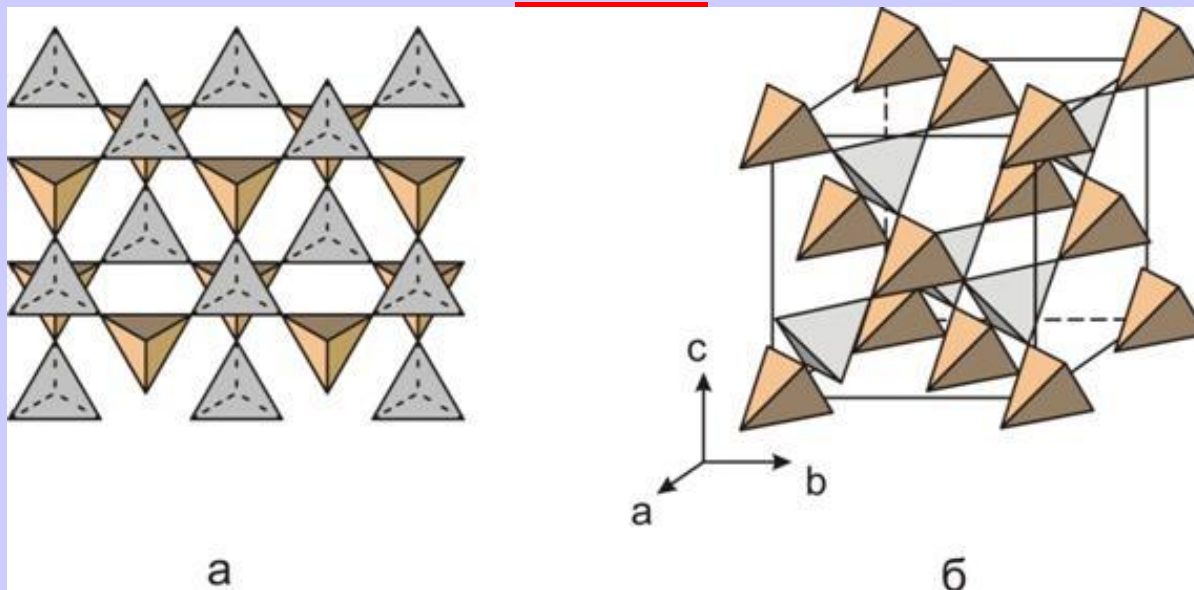
Полиморфные модификации кремнезема SiO_2

Кварц — тридимит — кристобалит
870° С 1470° С

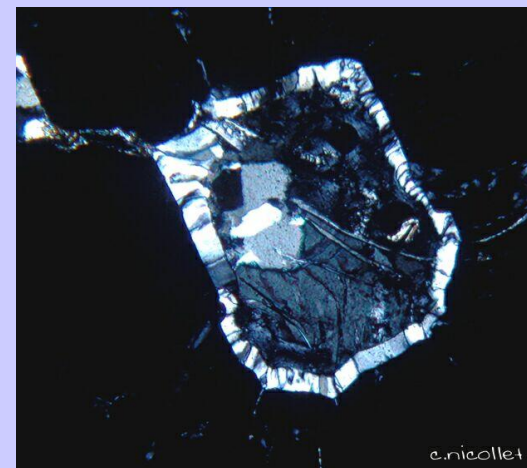
Кварц — коэсит — стишовит
2 ГПа (60 км) 8 ГПа (230 км)

Коэсит

С ростом $P \sim$ до 2 ГПа (60 км), кварц превращается в моноклинный **КОЭСИТ**

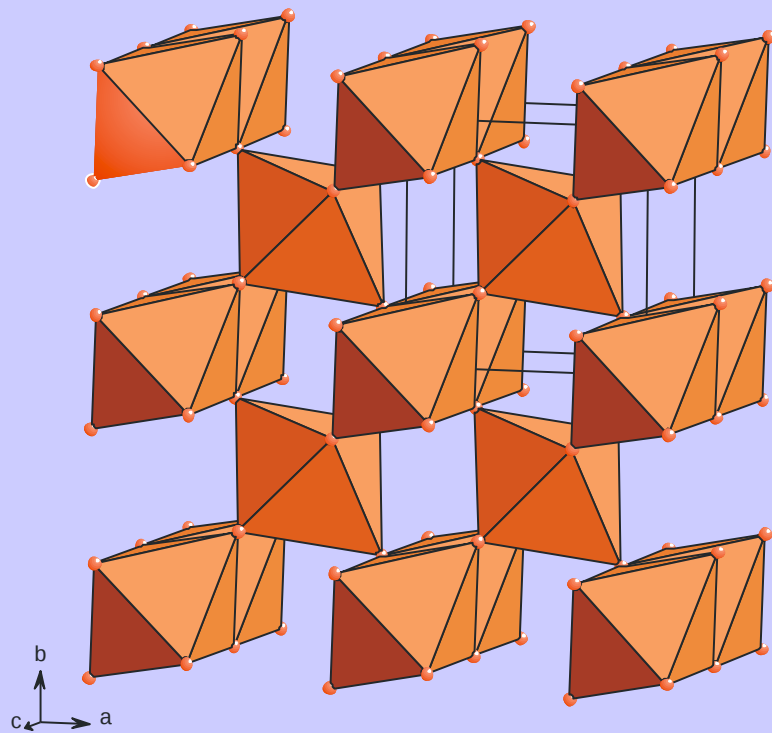


Синтезирован в 1953 американским химиком Коэсом. В 1960 году обнаружен в кварцсодержащих породах ударного метеоритного кратера в Аризоне. Коэсит устойчив в диапазоне давлений 2 — 8 ГПа. При меньших давлениях переходит в кварц, при больших — в стишовит.



Стишовит

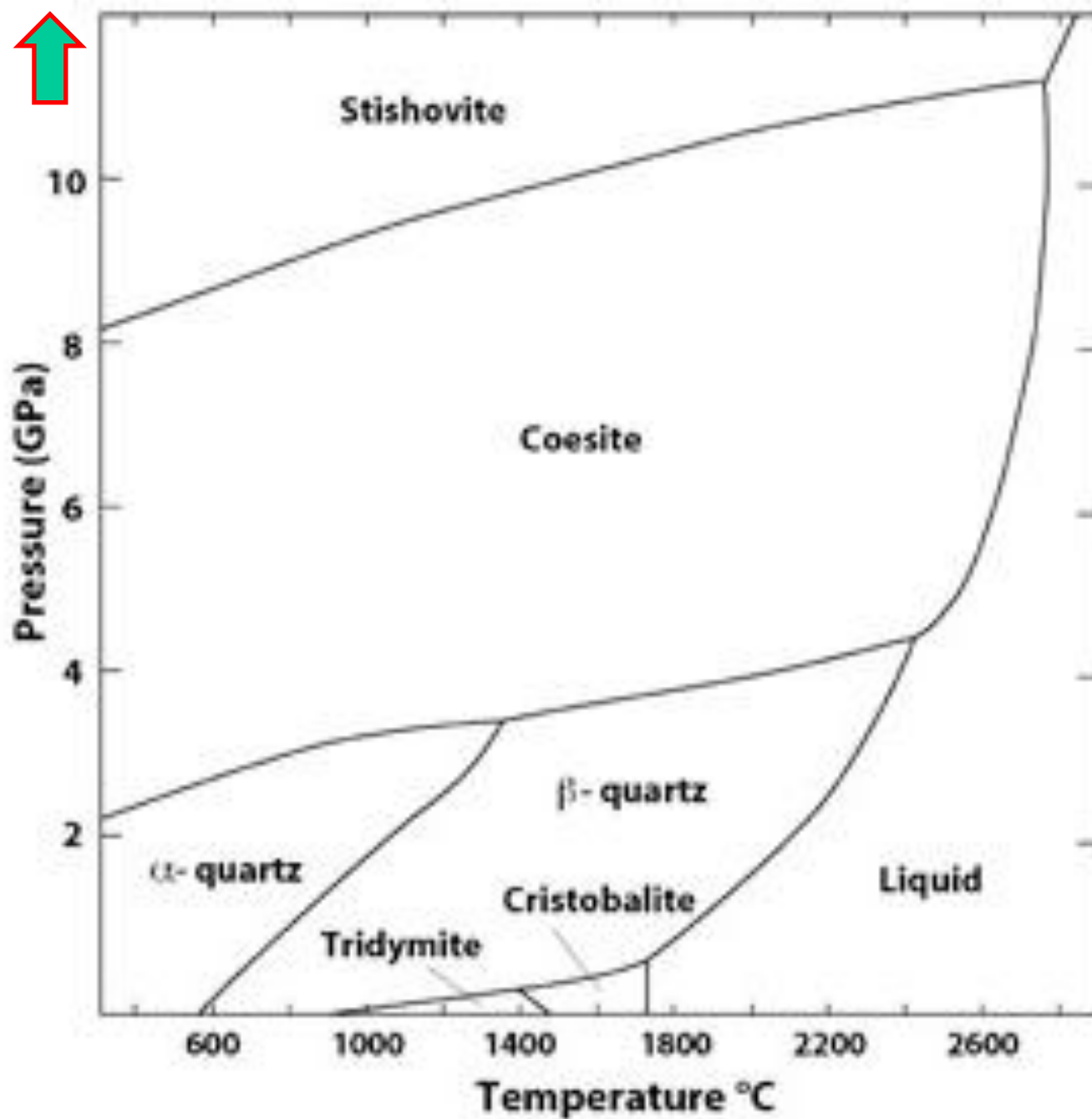
С ростом $P \sim$ до 8 ГПа, существующим на глубине
~230 км, *коэсит* превращается в **СТИШОВИТ**
КЧ=6!!!!!!



Выпускник геологического факультета С. Стишов в 1961 году, будучи аспирантом, получил новую модификацию кремнезёма, которая вскоре была обнаружена в Аризонском метеоритном кратере и названа в его честь.

Сейчас он академик, долго был директором ИФВД РАН
и заведующий кафедрой физики конденсированного
состояния вещества в экстремальных условиях в МФТИ.



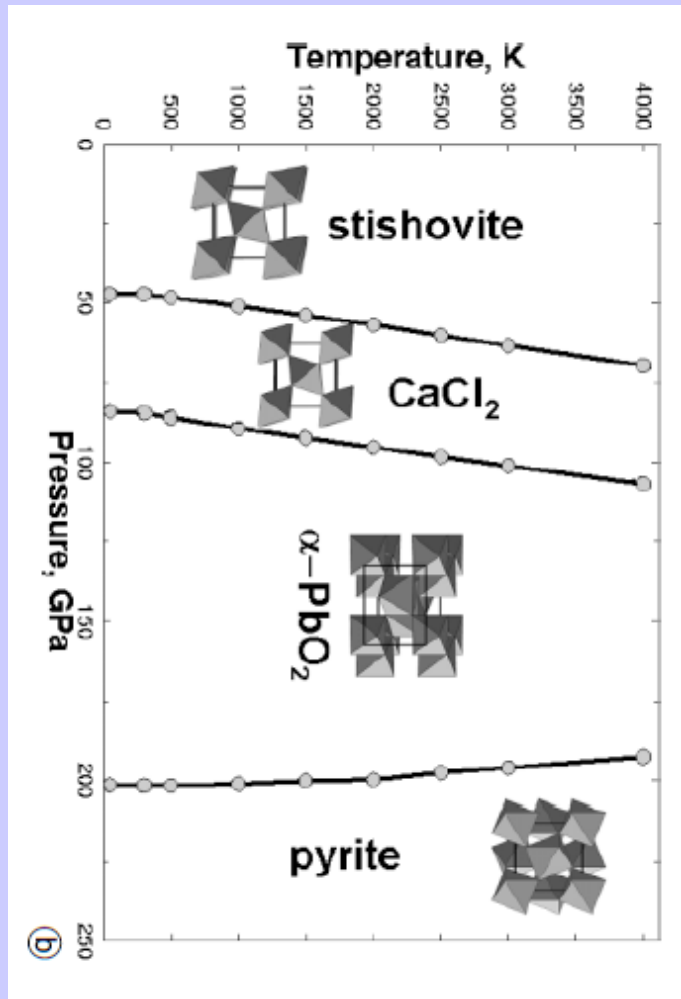


Фазовые трансформации некоторых известных минералов – SiO_2

Поле устойчивости стишовита ограничено диапазоном давлений 8-50 ГПа. При повышении давления осуществляется дисторсионный переход в ромбическую структуру типа CaCl_2

Еще глубже ≈ 2300 км (90 ГПа): SiO_2 (с.т. CaCl_2) $\rightarrow$ **зейфертит**
Это структурный тип типа $\alpha\text{-PbO}_2$

Расчеты показывают, что при 210 ГПа появляется фаза с «**пиритоподобной**» структурой, которую нельзя описать с позиций ПУ анионов.

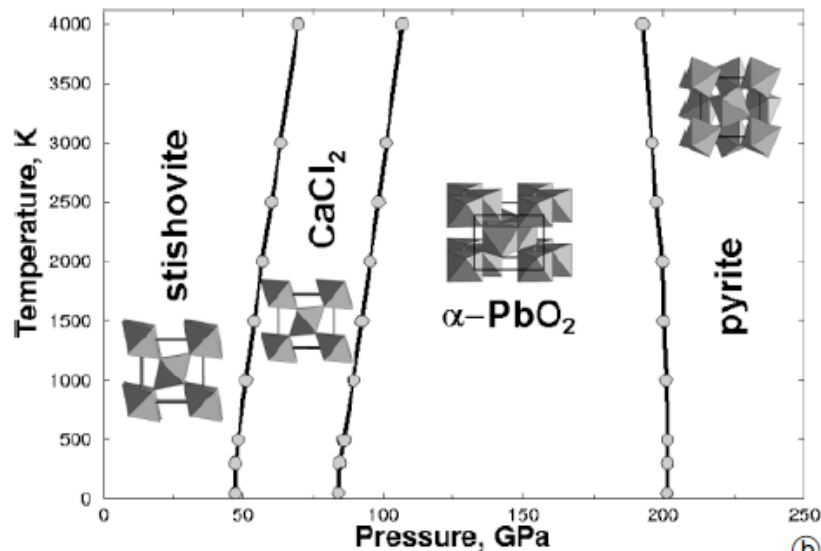


Фазовые трансформации некоторых Известных минералов – SiO_2

Тем не менее, она очень плотная (на 3,2% плотнее зейферита при давлении перехода). Структура «пирита», безусловно относительная - мостиковые расстояния O-O слишком длинные, чтобы считаться полноправной связью - 2.385 Å при 0 ГПа и 2.043 Å при 260 ГПа. Все HP полиморфы SiO_2 высоко-ионные: Si +3.23 в стишовите, +3.20 в зейферите, +3.17 в «пирите». Аналогичные переходы в «пиритовую структуру» экспериментально

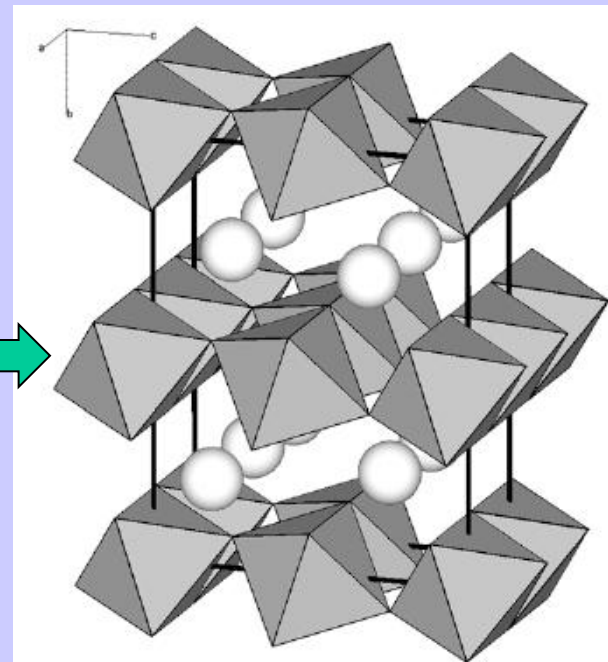
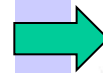
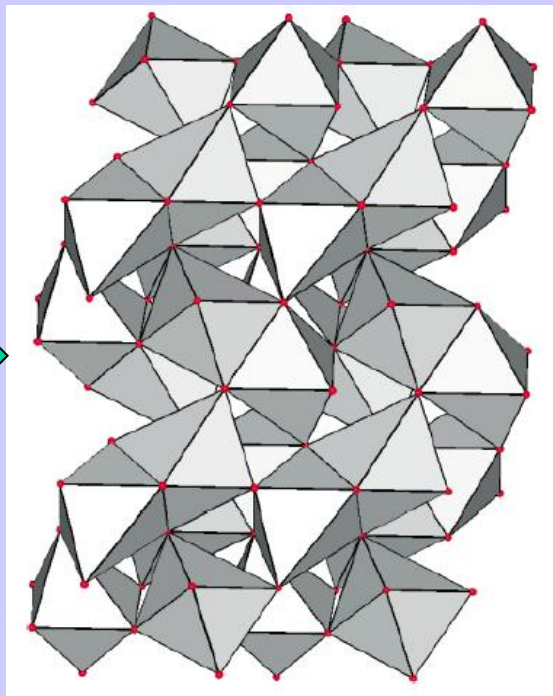
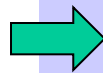
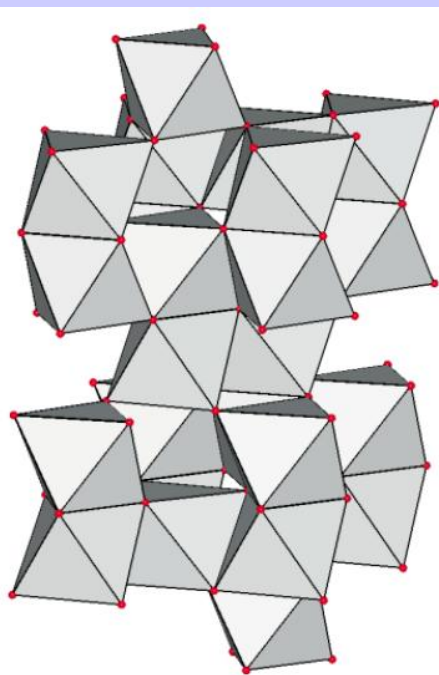
зафиксированы при высоких P в соединениях SnO_2 , RuO_2 , PbO_2 и GeO_2 (модельные структуры!!)

- Haines, J.; Leger, J. M.; Schulte, O.: *Pa3 modified fluoritetype structures in metal dioxides at high pressure. Science* 271 (1996) 629–631.
- Ono, S.; Tsuchiya, T.; Hirose, K.; Ohishi, Y.: *High-pressure form of pyrite-type germanium oxide. Phys. Rev. B* 68 (2003) art. 014103.



Фазовые трансформации некоторых известных минералов – Al_2O_3 корунд

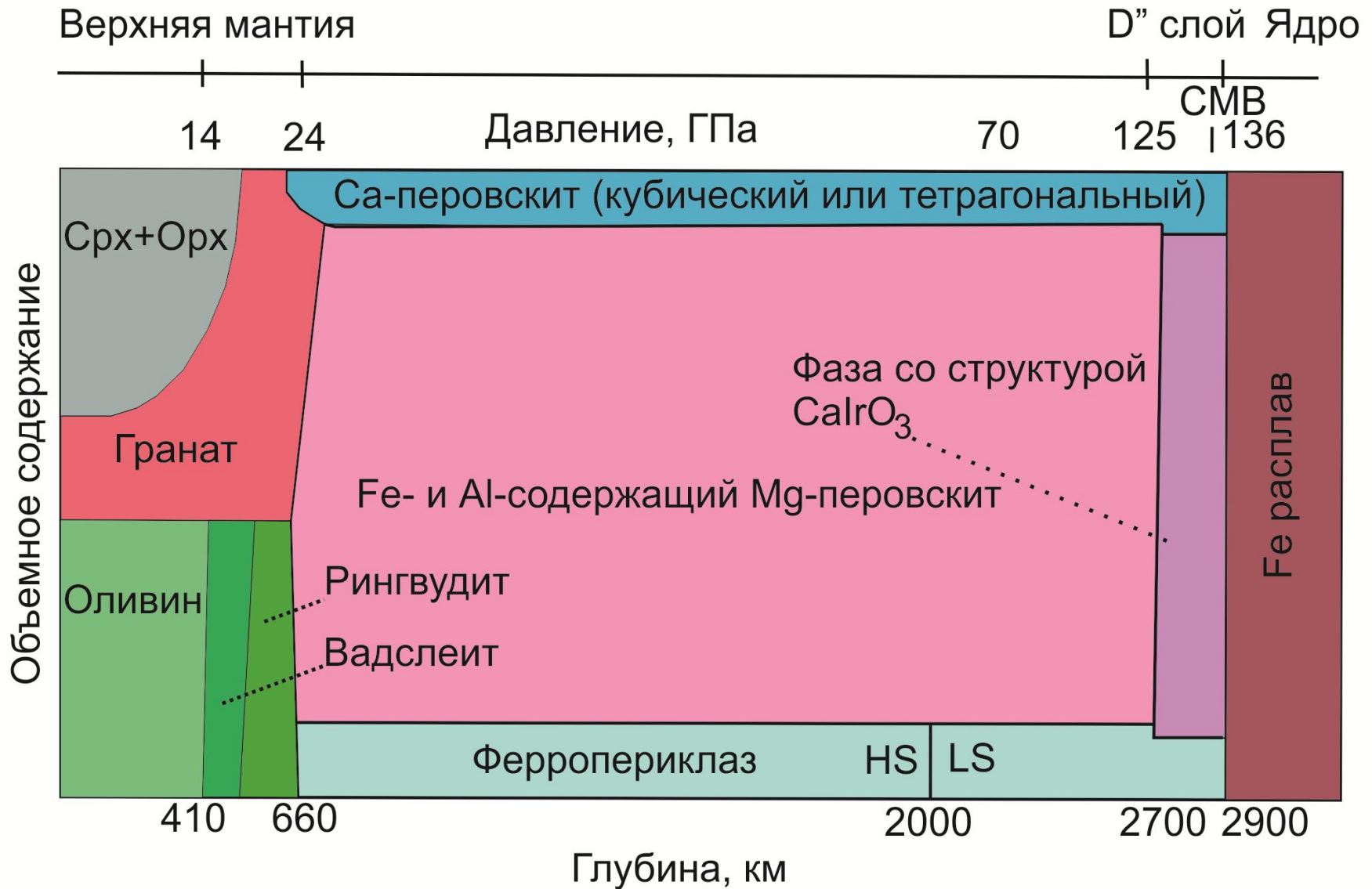
При 85 ГПа Al_2O_3 испытывает фазовый переход из структурного типа корунда в структуру типа $\text{Rh}_2\text{O}_3(\text{II})$. Есть основания предполагать, что $\text{Rh}_2\text{O}_3(\text{II})$ при 130 ГПа переходит в пост-перовскитовую структуру « CaIrO_3 »



А есть ли они в нижней мантии?



Минеральный состав Земных оболочек



Фазовые трансформации минералов нижней мантии MgO - периклаз

MgO существует с структурном типе NaCl (B1) до 300-500 GPa и температур плавления. При сверхвысоких давлениях происходит переход в CsCl-тип (B2)

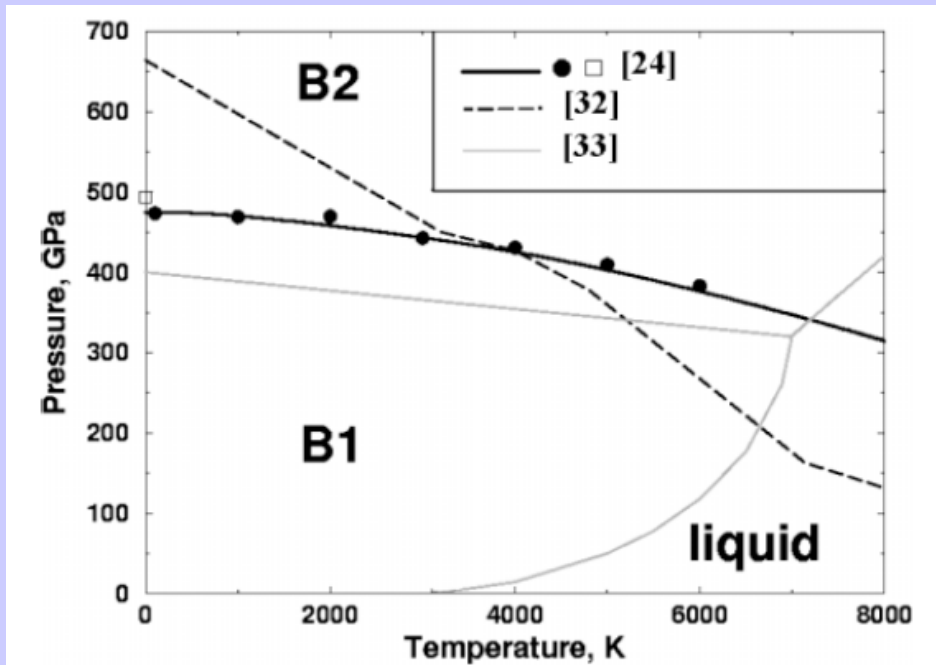
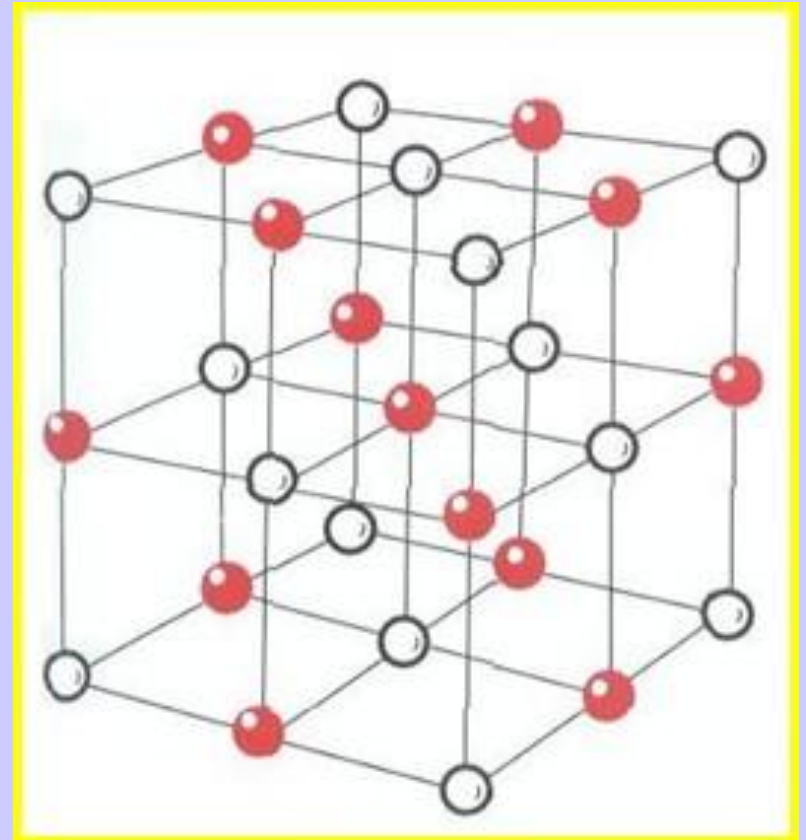
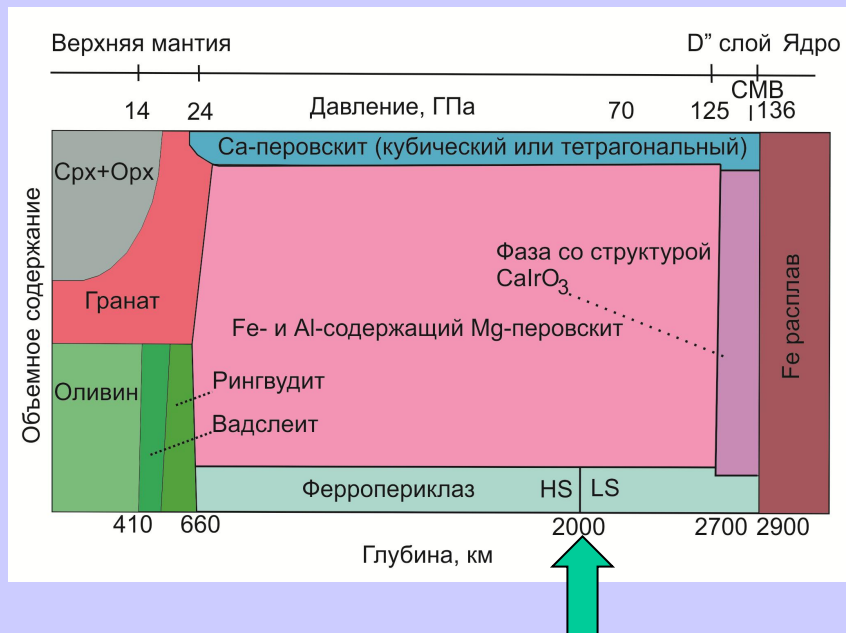


Fig. 3. Phase diagram of MgO (adapted from [24]). Calculations [24]: *solid black line* – result of integration of the Clapeyron slopes, *solid circles* – direct calculations, *open square* – static transition pressure.



Фазовые трансформации минералов нижней мантии: MgO (периклаз) – FeO (вюстит)

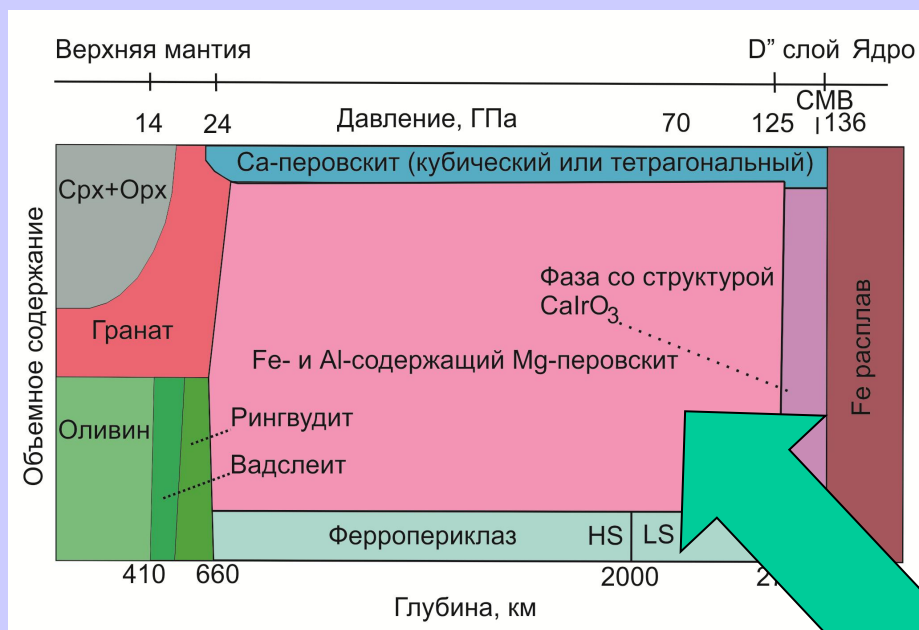
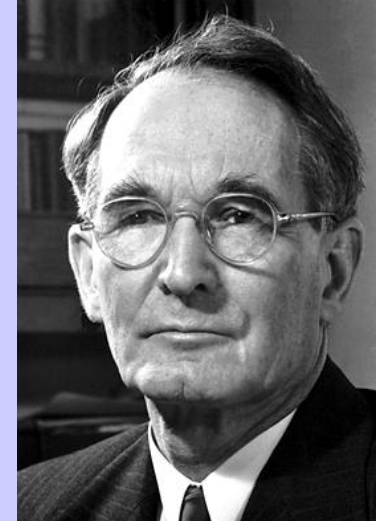
В нижней мантии MgO содержит 10–20 мольных % Fe. Экспериментально установлено, что при 60–70 GPa **феррипериклаз** ($\text{Mg}_{0.83}\text{Fe}_{0.17}\text{O}$) (иногда его неправильно называют магнезиевюстит) испытывает фазовый переход из высокоспинового в низкоспиновое состояние. Это соответствует глубинам около 2000 км.



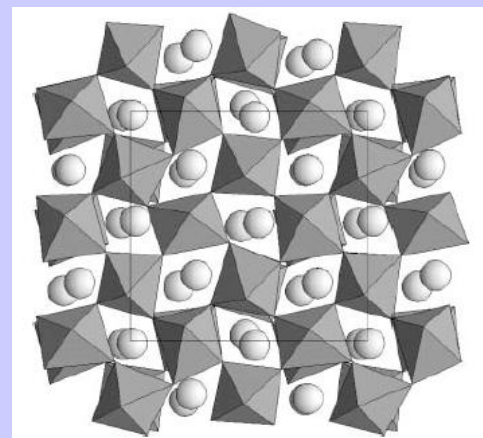
Распад твердого раствора $(\text{Mg,Fe})\text{O}$ на чистые оксиды в условиях мантии Земли большинством исследователей ставится под сомнение. От 1500 км. в FeO прогнозируется **металлизация межатомных связей**.

Бриджманит

MgSiO_3

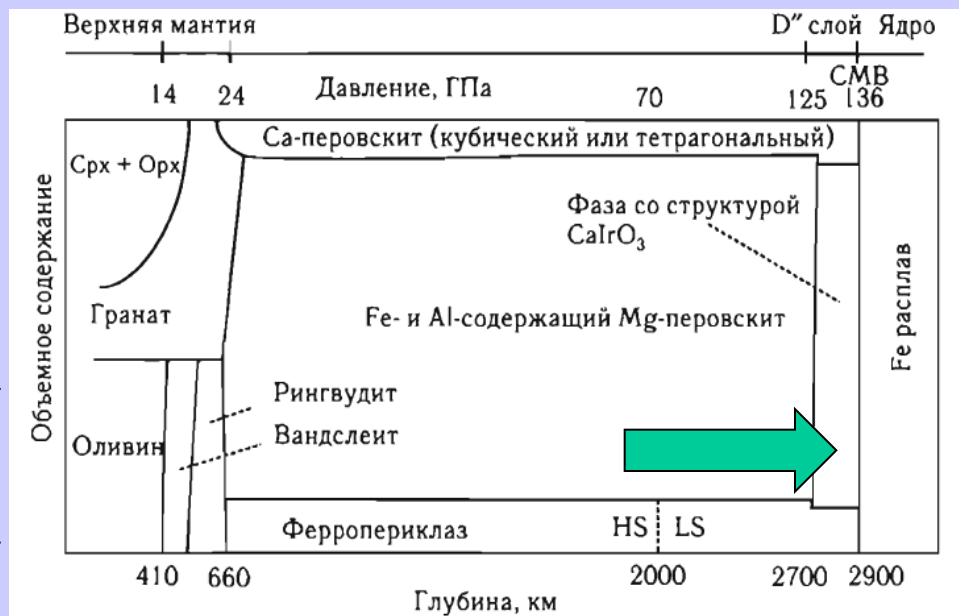
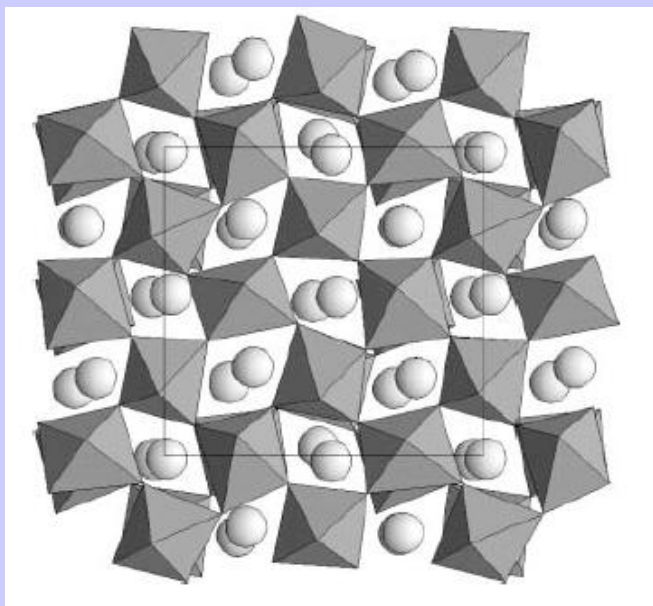


Американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике в 1946 г. «за изобретение прибора, позволяющего создавать сверхвысокие давления, и за открытия, сделанные в связи с этим в физике высоких давлений»



MgSiO_3 -перовскит

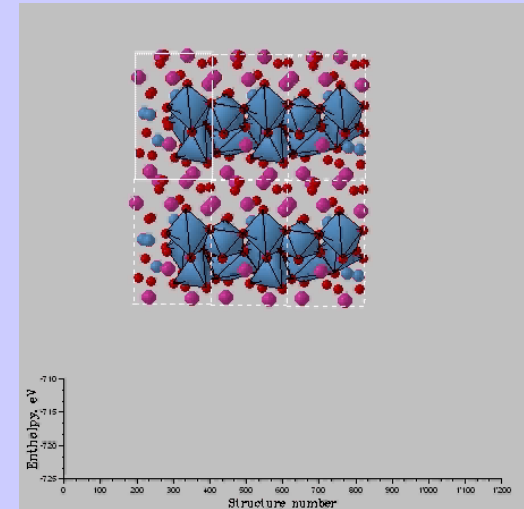
Ромбический «перовскит» MgSiO_3 Главный минерал мантии Земли (75% объема нижней мантии, или почти 40% объема всей Земли). Образуется в результате реакций распада оливина, гранатов и пироксенов на глубинах 650 км. Устойчив до слоя D''



В самой нижней части мантии Земли, на границе с ядром, есть странный слой D'' - это тот самый слой, через который тепло ядра переходит в мантию. Свойства слоя D'', изученные сейсмологами еще в 1950-е годы, оказались очень необычными и никак не находили разумного объяснения.

MgSiO_3 - постперовскит

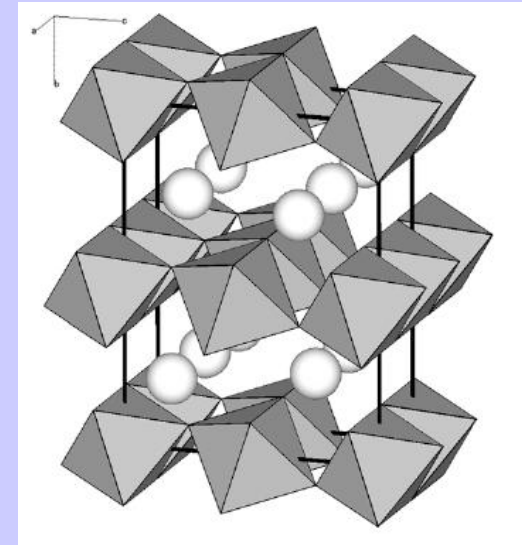
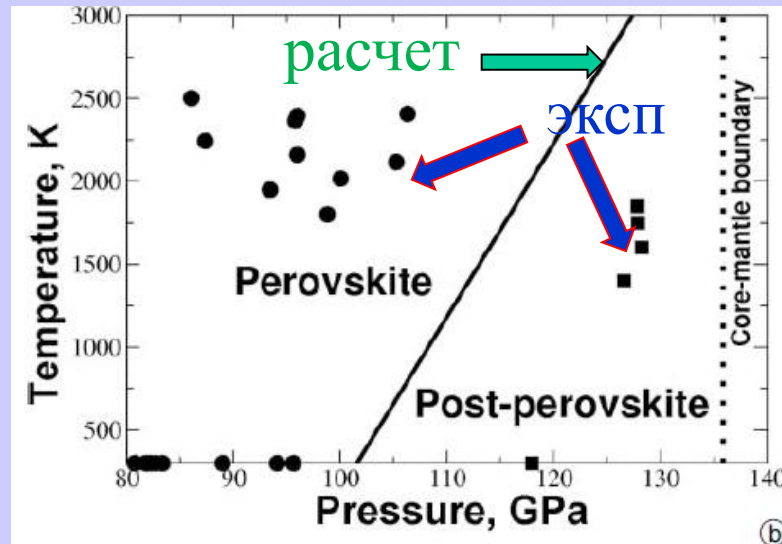
В 2004 году Артемом Огановым было теоретически предсказано, что при давлениях порядка 130 ГПа перовскит преобразуется в «слоистый» *постперовскит*, соединение практически одновременно было синтезировано в Токийском университете).



Изоструктурные соединения:



ряд сульфидов,
бромидов и йодидов.



- Oganov A.R., Ono S. Theoretical and experimental evidence for a post-perovskite phase of MgSiO_3 in Earth's D" layer // *Nature*. 2004. No. 430. P. 445-448.
- Murakami M. Hirose K., Sata N., et al. Phase transition of MgSiO_3 perovskite in the deep lower mantle // *Science*. 2004. V. 304. P. 855-858



Выпуск 1992



Выпуск 1997

Артём Оганов (1975 г.р.) Окончил в 1997 году с
отличием геологический факультет МГУ по специальности
«кристаллография и кристаллохимия».



★ ● **1999 MODELING OF STRUCTURES AND PROPERTIES OF OXIDE CRYSTALS BY MINIMIZATION OF THE ATOMIZATION ENERGY**

Urusov V.S., Eremin N.N., Oganov A.R.

в журнале *Кристаллография*, издательство ФГУП Издательство «Наука» (Москва), том 44, № 3, с. 396-405

● **1999 Modeling of structures and properties of oxide crystals by minimization of the atomization energy**

Urusov V.S., Eremin N.N., Oganov A.R.

в журнале *Crystallography Reports*, издательство *Maik Nauka/Interperiodica Publishing* (Russian Federation), том 44, № 3, с. 356-365

● **1998 Computer simulation of the structure, properties, and stability of the Al_2SiO_5 polymorphs: I. Ionic Model**

Urusov V.S., Oganov A.R., Eremin N.N.

в журнале *ГЕОХИМИЯ*, № 5, с. 456-474

● **1997 COMPUTER SIMULATION OF THE STRUCTURE, PROPERTIES, AND STABILITY OF THE $AlSiO_2$ POLYMORPHS: I. IONIC MODEL5**

Urusov V.S., Oganov A.P., Eremin N.N.

в журнале *Geochemistry International*, издательство *Maik Nauka/Interperiodica Publishing* (Russian Federation), том 36, № 5, с. 397-414

Урусов В.С.
Академик РАН
Зав. кафедрой кристаллографии и
кристаллохимии
1983-2015

cryst.geol.msu.ru/urusov/
Премия Урусова



Премия имени академика Урусова В.С.

[О конкурсе](#) [Новости конкурса](#) [Лауреаты](#) [Об академике В.С.Урусове](#)
[О конкурсе](#)

20 октября 2016 года на заседании Ученого совета геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова утверждено Положение о премии имени академика В.С.Урусова. Премия учреждена в память об академике В.С.Урусове (1936-2015), ученого в области геохимии твердого тела, заведующего кафедрой кристаллографии и кристаллохимии Геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова (1983-2015), лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники.

Цель премии

Стимулирование талантливых и перспективных студентов геологического факультета, обучающихся по специальности «Геохимия», которые достигли успехов в своих научных исследованиях.

Для кого

Правом на подачу заявки для участия в конкурсе обладают студенты 3-4 курсов и магистранты 1-го и 2-ого года обучения геологического факультета, если они:

- а) обучаются на геологическом факультете МГУ по специальности «Геохимия» (геохимическое отделение);
- б) имеют не менее одной научной публикации в реферируемых научных журналах из списка ВАК и WOS (SCOPUS) и не менее одного устного выступления на научной конференции (тезисы доклада);
- в) зарегистрированы в интеллектуальной системе тематического исследования научно-технической информации (ИСТИНА МГУ) и имеют в ней ненулевой персональный рейтинг по формуле для научных сотрудников факультета.

Что нужно для участия в конкурсе:

На конкурс участники представляют следующие документы:

- а) личное **заявление** о желании принять участие в конкурсе и **анкету**;
- б) письмо-представление кафедры с краткой характеристикой научной деятельности претендента, подписанное заведующим кафедрой (в свободной форме);
- в) рекомендацию научного руководителя с подробной характеристикой научной деятельности претендента, подписанную научным руководителем (в свободной форме);
- г) копии научных трудов (публикации, тезисы докладов) с указанием степени личного вклада претендента;
- д) скриншот экрана главной страницы своего профиля в Интеллектуальной системе тематического исследования научно-технической информации МГУ имени М.В.Ломоносова (ИСТИНА), с цифровым рейтингом номинанта и распечатку результатов;
- е) по желанию претендентом могут быть предоставлены дополнительные материалы (рекомендательные письма, отзывы, дипломы и т.д.).

Документы направляются одним pdf-файлом на адрес электронной почты организационного комитета конкурса: grant_urusova@geol.msu.ru. Бумажные версии документов предоставляются в коннату 435 Главного здания МГУ имени М.В. Ломоносова.

Срок представления документов с 01 ноября по 19 декабря 2022 года.

Лауреаты 2023 г.

<https://istina.msu.ru/profile/RubtsovaEA/>



Лауреатом 1-ой премии была избрана **Рубцова Екатерина Антоновна** - магистрант 2 курса кафедры геохимии. С 2020 года работает в лаборатории геохимии ИГЕМ РАН. Область научных интересов связана с экспериментальным исследованием форм переноса металлов и термодинамическим описанием комплексообразования металлов в гидротермальных флюидах. Рубцова Е. А. является автором 2 статей в журналах, 2 статей в сборниках и 14 докладов, в том числе на международных конференциях. Все исследования выполнены в рамках двух грантов РФФИ. Неоднократно получала повышенную стипендию за достижения в научной и общественной деятельности. Принимала участие в международной конференции 16th SGA Biennial Meeting (Ротора, Новая Зеландия).



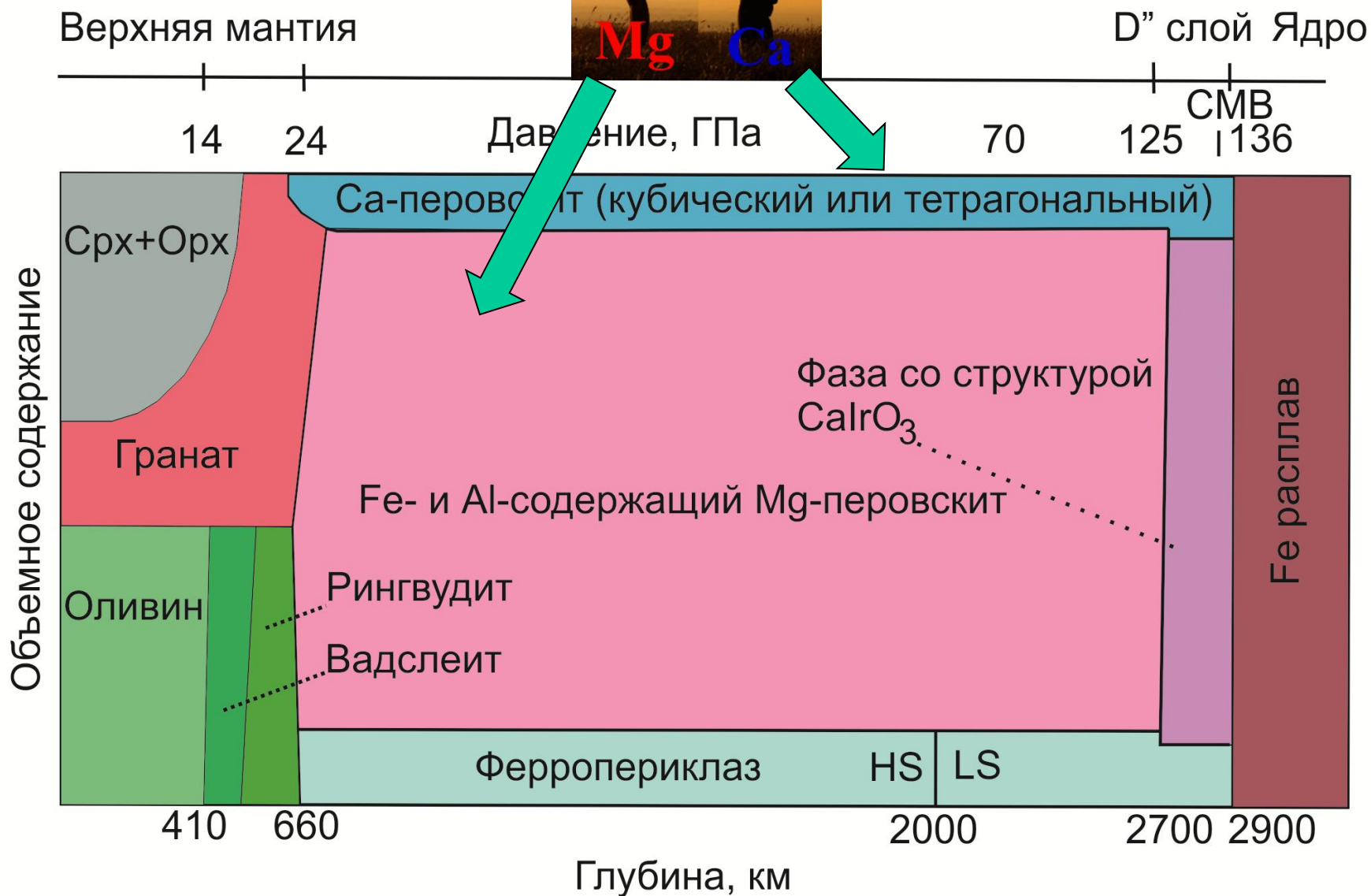
<https://istina.msu.ru/profile/BuchinskiyVV/>



Лауреат 2-ой премии - **Бучинский Владимир Витальевич** – магистрант 1 года обучения кафедры кристаллографии и кристаллохимии. На данный момент имеет 2 статьи в журналах, в том числе входящих в ТОП-25 и 1 статью в сборнике, а также принимал участие в НИР «Глубинный цикл мантии Земли: минералогические и геохимические индикаторы корово-мантийного взаимодействия». Владимир принимал участие в 3 конференциях российского и международного уровней, имеет 2 тезисов докладов. С 2021 года область научных интересов Бучинского В.В. связана с кристаллохимическими исследованиями кристаллических структур гибридных галогенидов свинца, применяемых в фотовольтаике, квантовохимическими расчетами и теоретическим моделированием кристаллических структур.

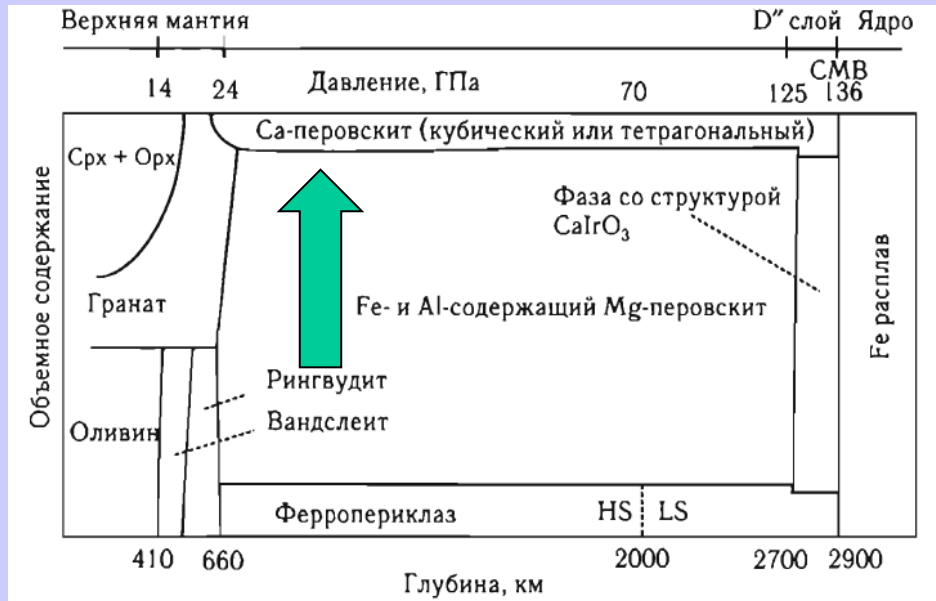
Правом на подачу заявки для участия в конкурсе обладают студенты 3-4 курсов и магистранты 1-го и 2-ого года обучения геологического факультета, если они:

- а) обучаются на геологическом факультете МГУ по специальности «Геохимия» (геохимическое отделение);
- б) имеют не менее одной научной публикации в реферируемых научных журналах из списка ВАК и WOS (SCOPUS) и не менее одного устного выступления на научной конференции (тезисы доклада);
- в) зарегистрированы в интеллектуальной системе тематического исследования научно-технической информации (ИСТИНА МГУ) и имеют в ней ненулевой персональный рейтинг по формуле для научных сотрудников факультета.

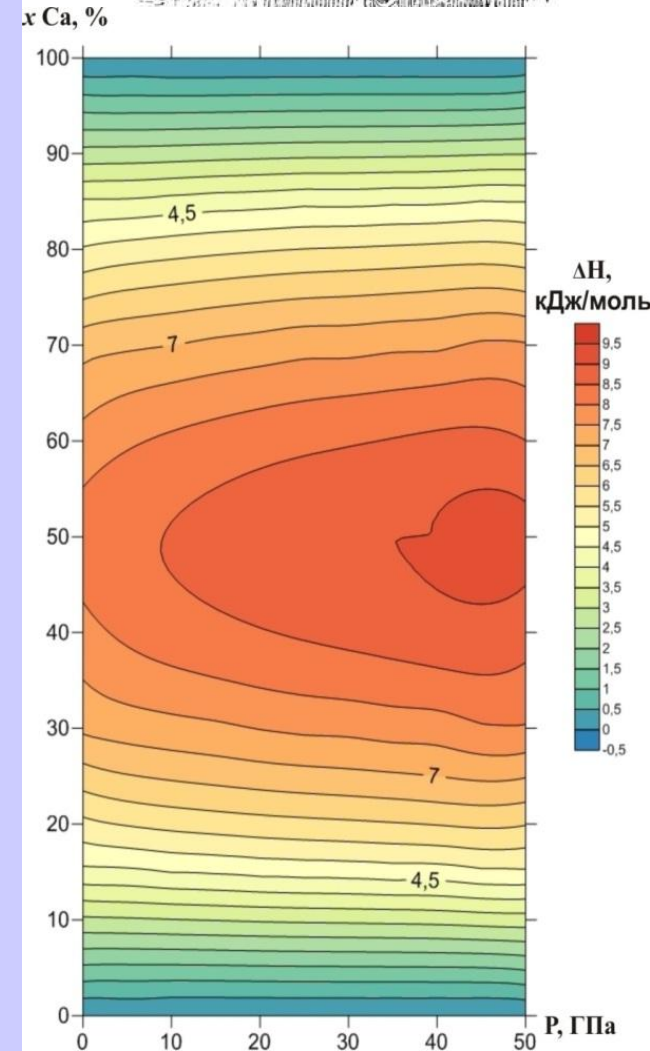
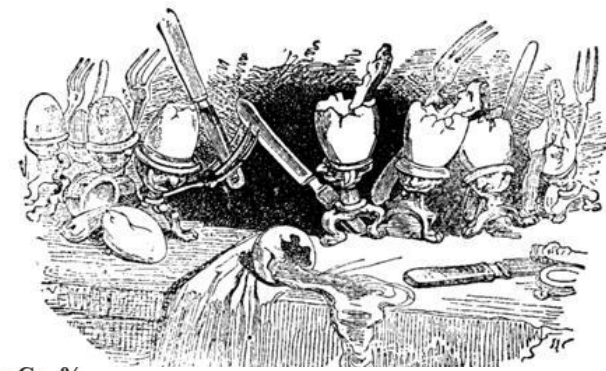


CaSiO_3 - перовскит

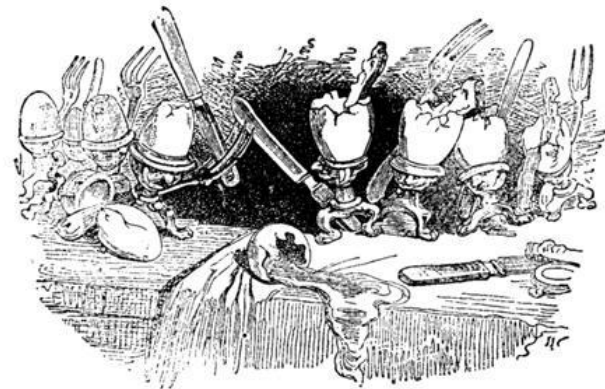
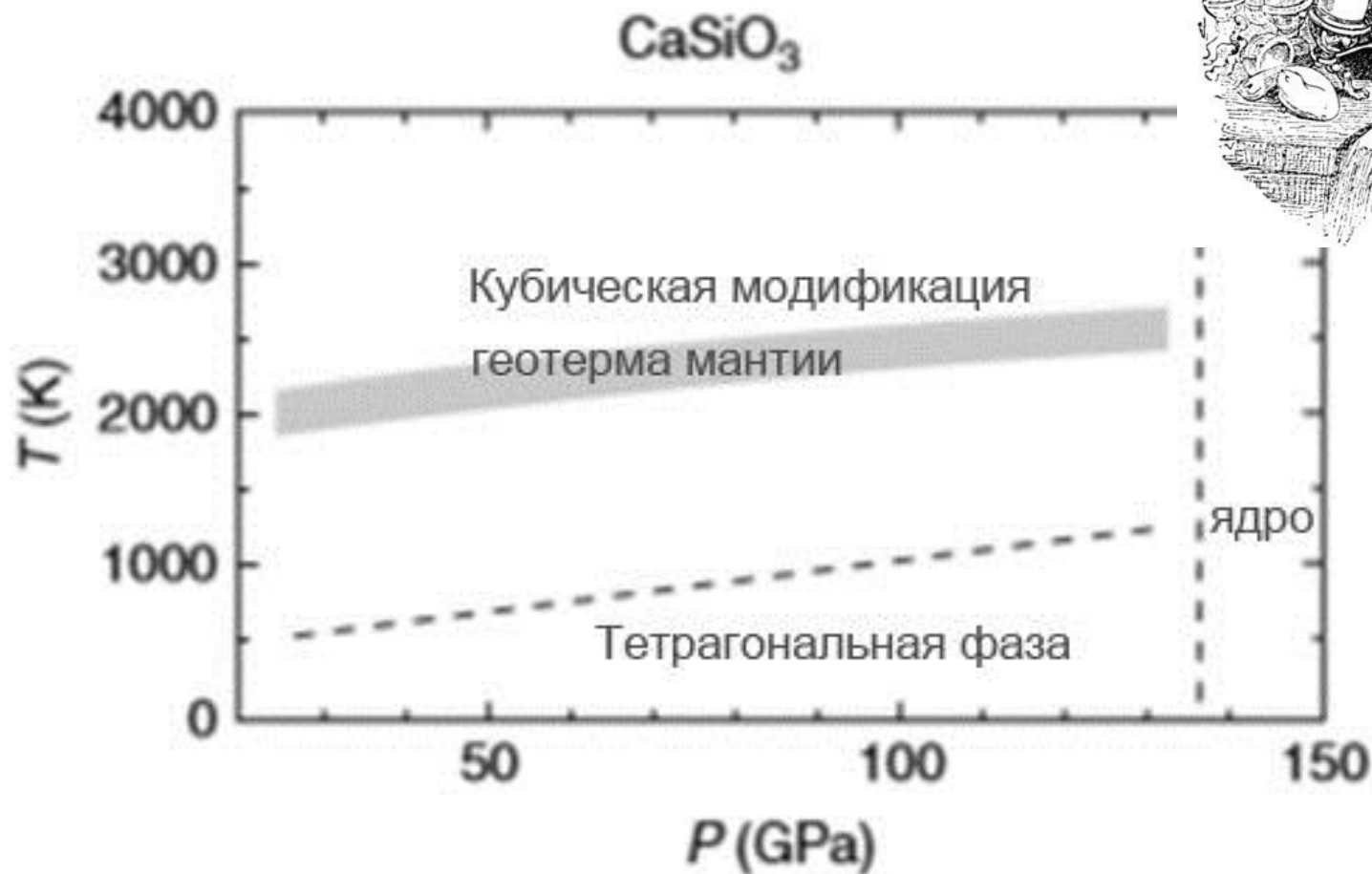
Кубический (тетрагональный) перовскит
(Ca-Pv) до 7–8 объемных % нижней мантии)



Смесимость с MgSiO_3 – крайне ограничена из-за больших энтальпийных эффектов (увеличивающихся с ростом P !). В условиях мантии более вероятна кубическая фаза, тетрагональная стабильна при более низких температурах. Потенциальный резервуар Al (дискуссионно).



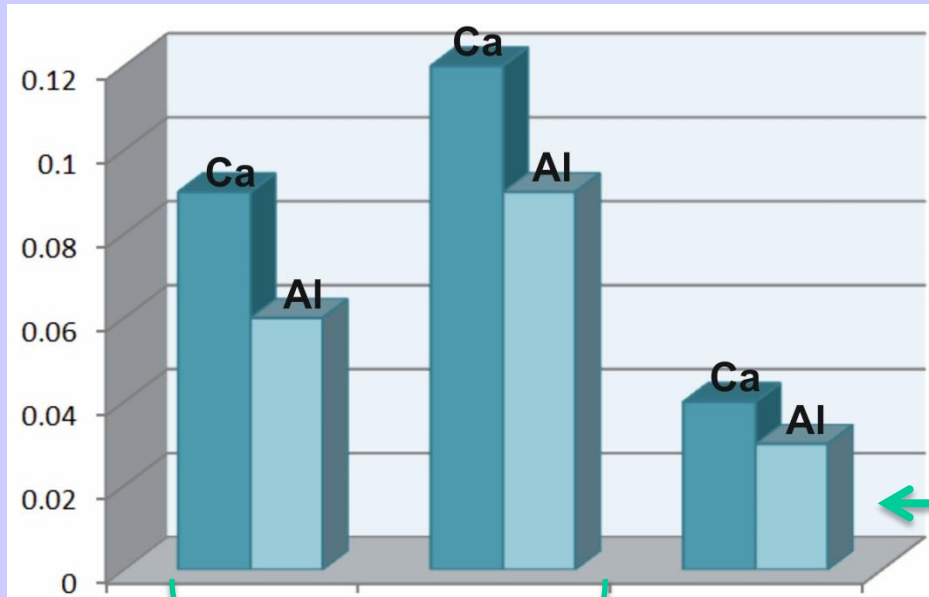
CaSiO_3 - перовскит



CaSiO_3 диаграмма, полученная на основе экспериментов в алмазных наковальнях [Kurashina и др., 2004] и [Ono и др., 2004]. Затененная область представляет собой геотерму мантии согласно [Brown и Shankland, 1981].

Распространенность элементов в мантии Земли

В пересчете на 1 атом Si



[Irifune and Tsuchiya, 2007]

Ca 0.04 - 0.07

Al 0.03-0.06



с учетом вхождения Al в MgSiO_3

Результаты расчетов показали, что среднее содержание пяти наиболее распространенных элементов в мантии Земли в пересчете на один атом Si следующее:

O - 3.59

Mg - 1.05

Si - 1.0

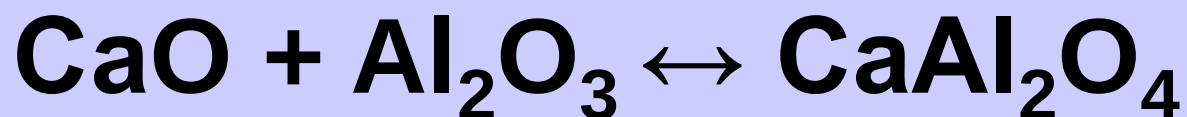
Fe - 0.082

Al - 0.048

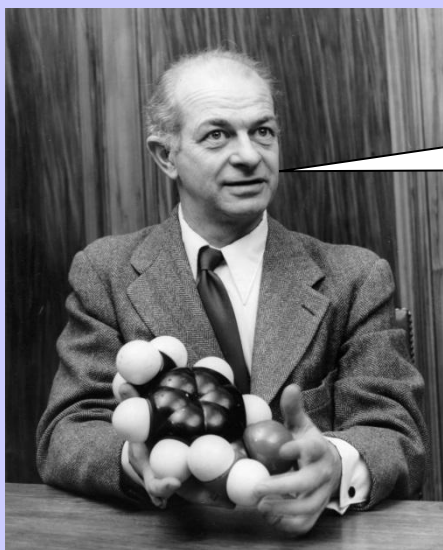
Ca - 0.03.

не все количество Ca и Al в мантии может быть сосредоточено в этих перовскитовых фазах

Собственные фазы Са и Al ???



(5-е правило Полинга)



Природа ленива по
своей сущности!

Методы кристаллохимического прогноза





Машина может

- ✓ Предсказывать
- ✓ Запоминать
- ✓ Воспроизводить
- ✓ Выбирать лучшее

Машина не может

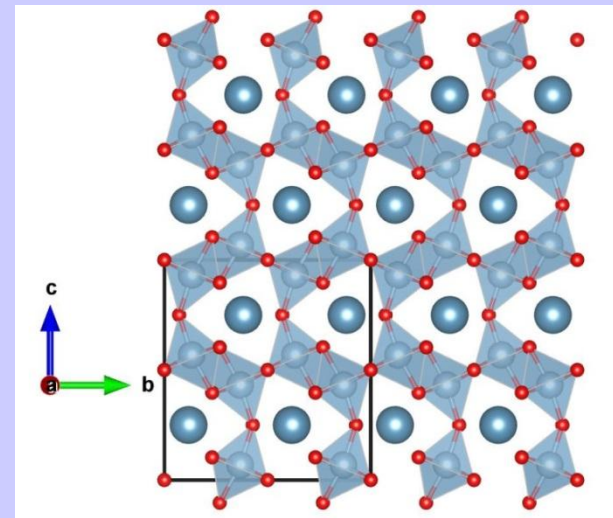
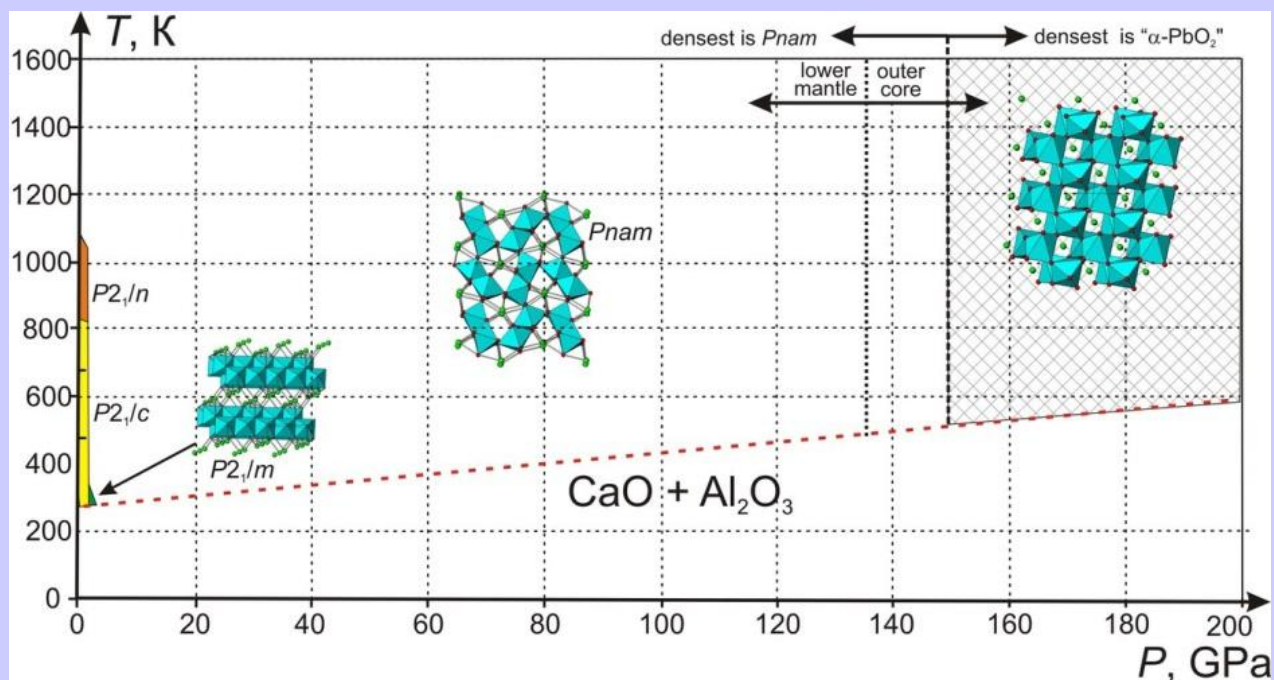
- Создавать новое
- Резко поумнеть
- Выйти за рамки задачи

Похоже на студентов, не так ли?

Как ищут новые материалы

- 1) Хорошо забытое старое (поиск по базам данных) и моделирование функциональных характеристик
- 2) Моделирование новых структур используя известные структурные типы
- 3) Методы эволюционного моделирования
- 4) Методы машинного обучения для предсказания корреляций
состав-структура-свойство

CaAl₂O₄ в мантии Земли



Есть ли ещё???

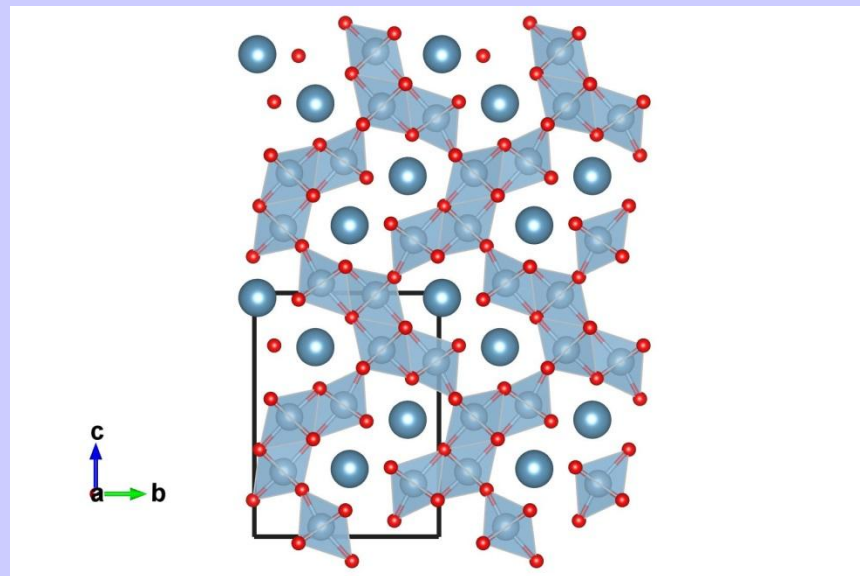
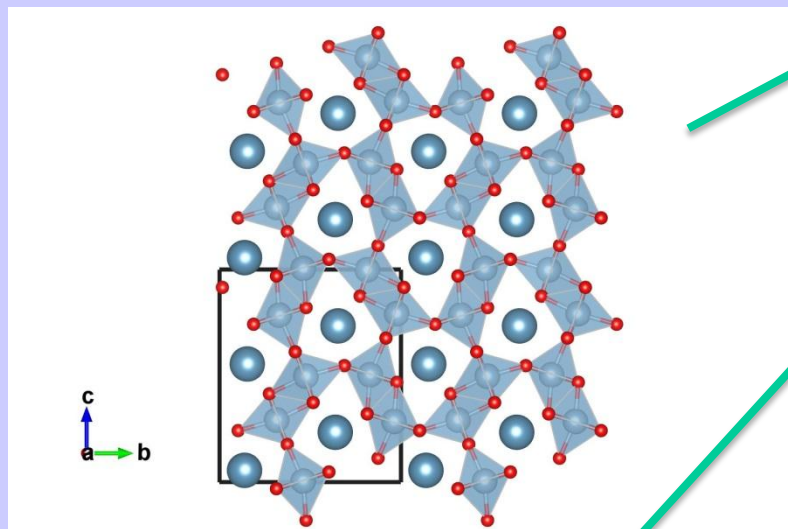
CaAl₂O₄ со структурным
ТИПОМ **марокита**

Eremin N.N., Grechanovsky A.E., Marchenko E.I.

Atomistic and ab-initio modeling of CaAl₂O₄ high-pressure polymorphs under Earth's mantle conditions

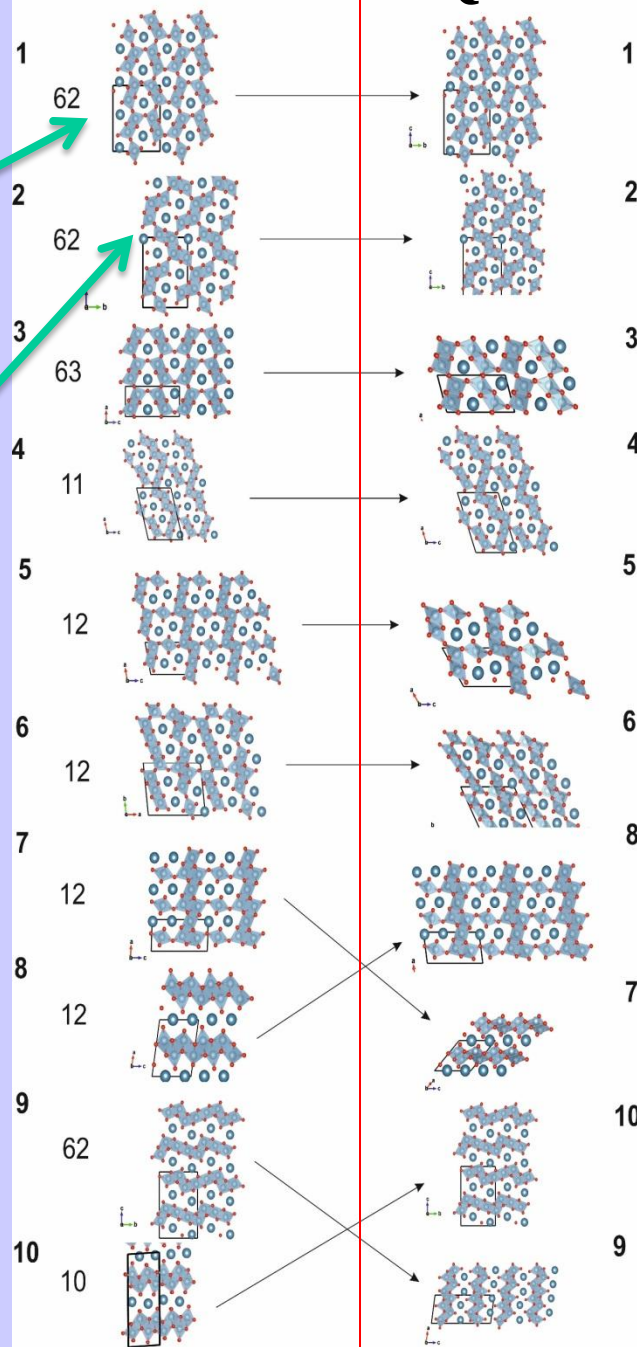
Cryst. Reports. V. 61. № 3. Pp. 432-442

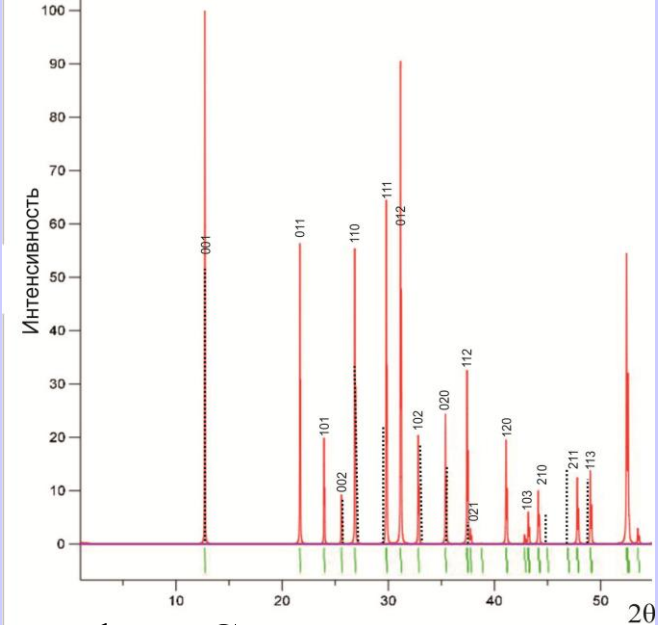
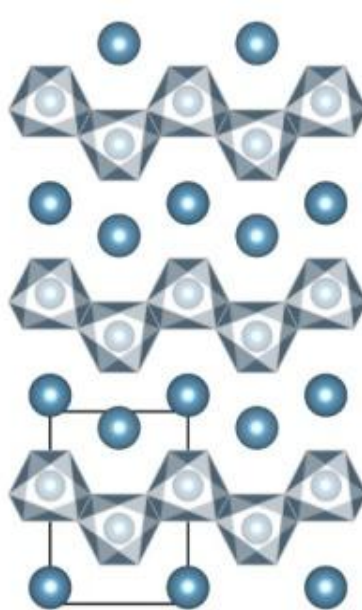
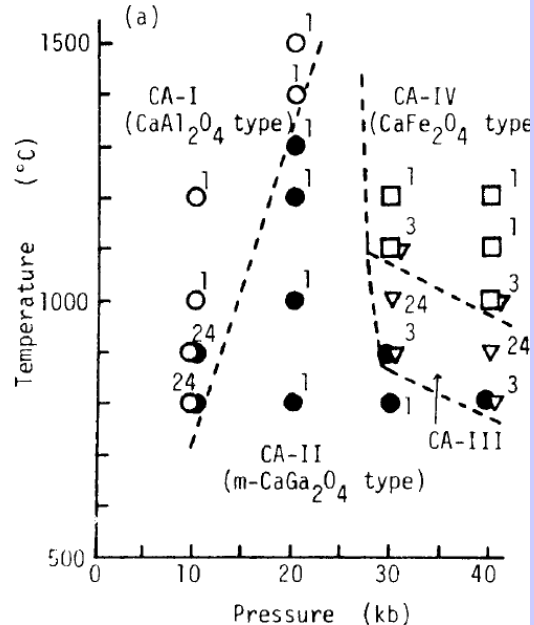
100 GPa



GULP

QE

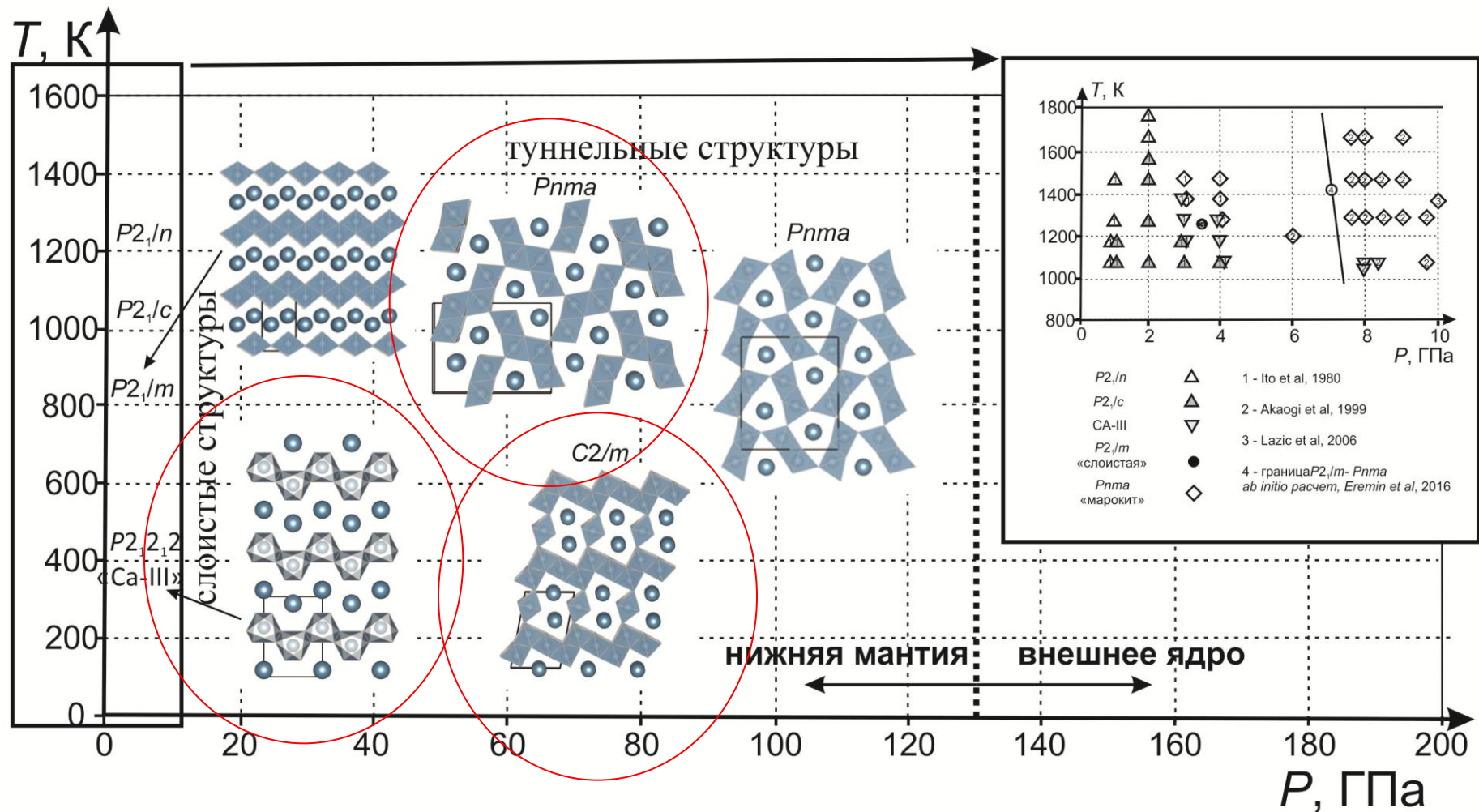




Найденная гипотетическая фаза Ca-III

Modifi- cations	Structure Type	System	Lattice Constants				$V(\text{\AA}^3)$	Z	Density (g/cm ³)
			a(Å)	b(Å)	c(Å)	β (deg)			
CA-I	CaAl ₂ O ₄	monocli.	8.70	8.09	15.21	90.14	1070	12	2.94
CA-II	m-CaGa ₂ O ₄	monocli.	7.95	8.62	10.25	93.10	702	8	2.99
CA-III	unknown	ortho.	4.39	5.07	6.96		155	(2)	3.39
CA-IV	CaFe ₂ O ₄	ortho.	8.89	10.30	2.87		263	4	3.58
CaGa ₂ O ₄	CaGa ₂ O ₄ -I	ortho.	9.03	7.73	10.19		711	8	4.57
CaGa ₂ O ₄	CaFe ₂ O ₄	ortho.	9.12	10.57	2.99		288	4	5.64

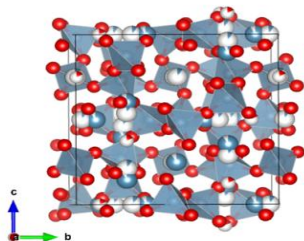
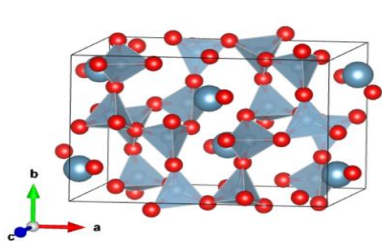
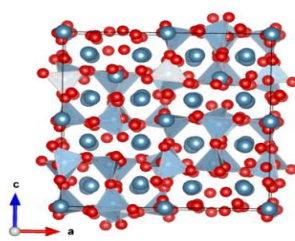
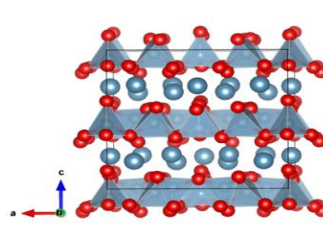
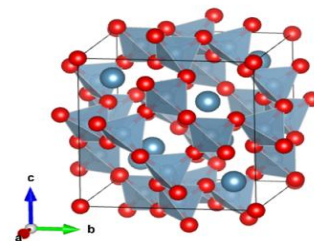
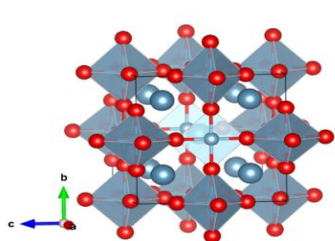
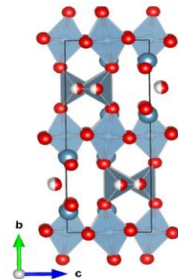
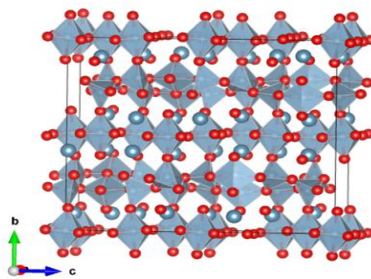
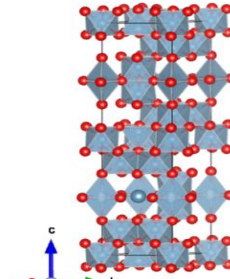
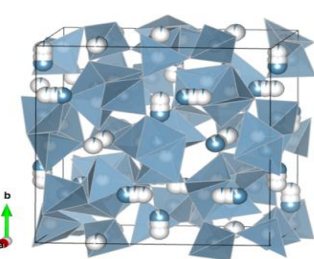
[Ito et al., 1980]



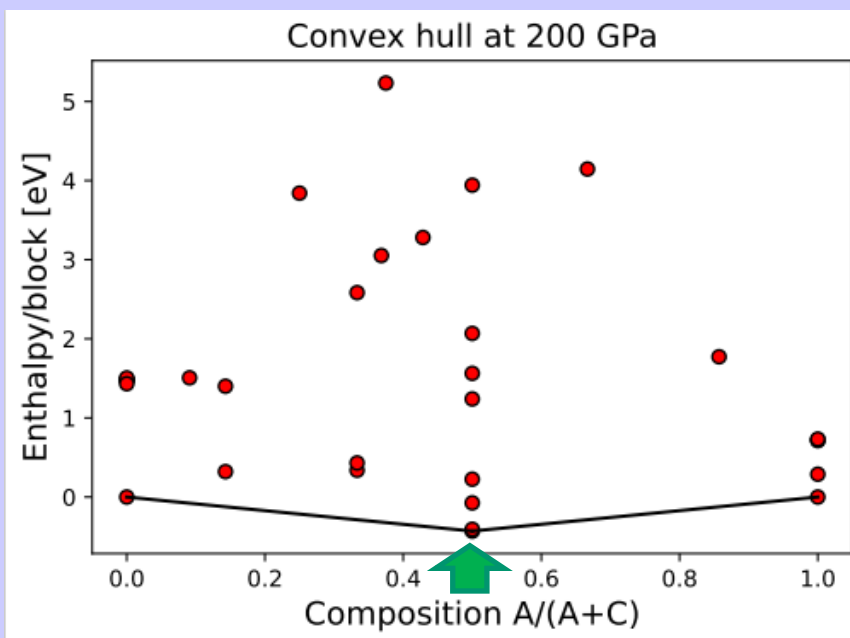
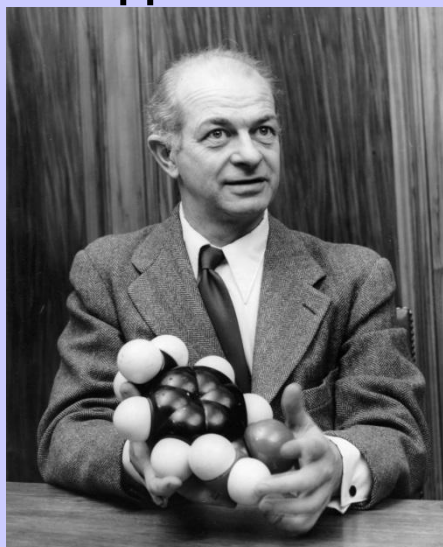
Обобщенная диаграмма CaAl_2O_4
 [Ito et al., 1980], [Akaogi et al., 1999], [Lazic et al, 2006] + наши расчеты.



Работы по этой тематике – непочатый край!

a) $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ b) CaAl_4O_7 c) $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ d) $\text{Ca}_5\text{Al}_6\text{O}_{14}$ e) $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{13}$ f) $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ g) $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5$ h) $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{13}$ i) $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ j) $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ 

Правило Парсимони Полинга в действии



Stable compounds in the $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ system at high pressures

[Ekaterina I. Marchenko](#) , [Artem R. Oganov](#), [Efim A. Mazhnik](#) & [Nikolay N. Eremin](#)

[Physics and Chemistry of Minerals](#) **49**, Article number: 44 (2022) | [Cite this article](#)

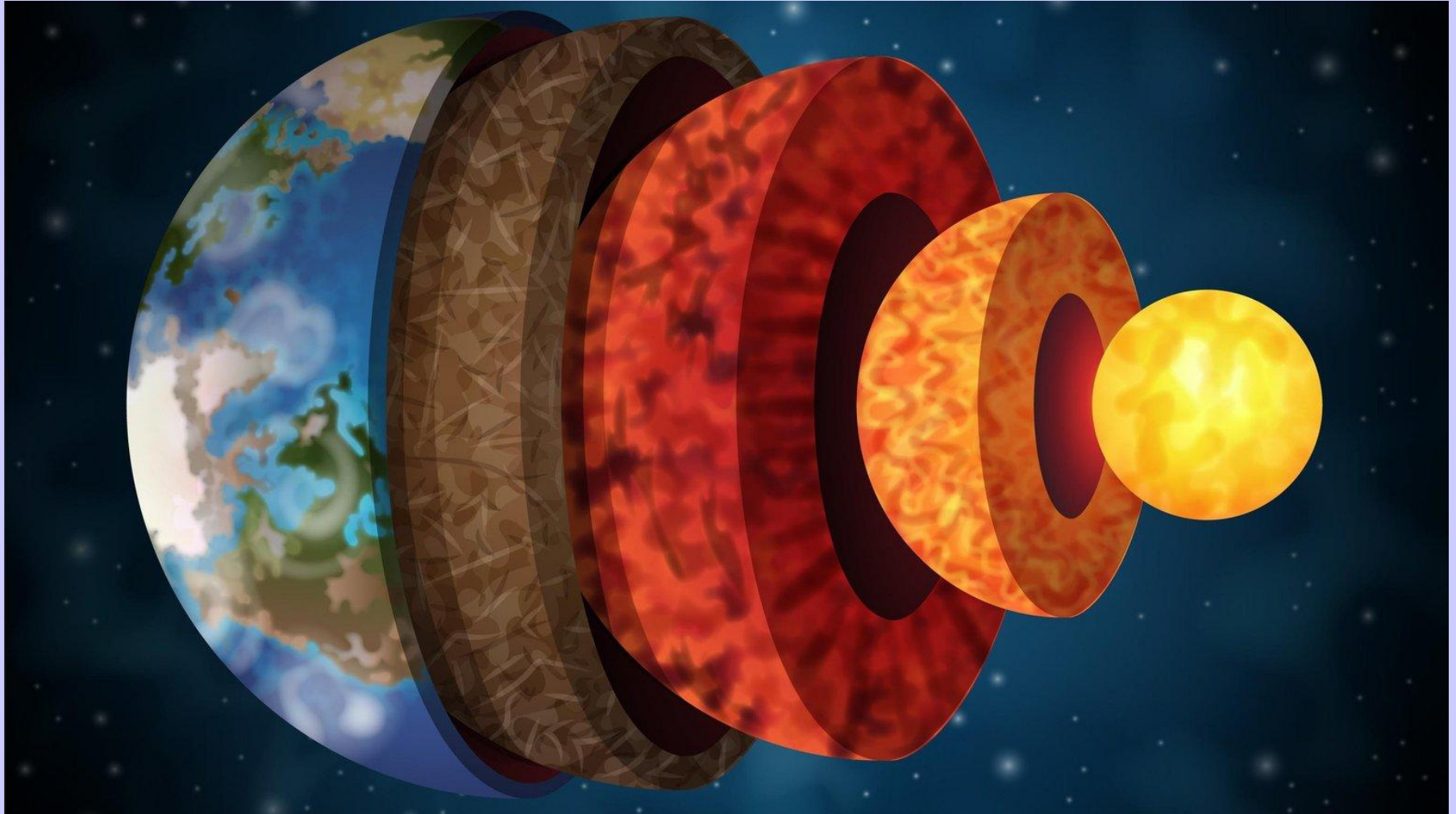
314 Accesses | **1** Citations | **10** Altmetric | [Metrics](#)

Abstract

Using the evolutionary crystal structure prediction algorithm USPEX, we showed that at pressures of the Earth's lower mantle (24–136 GPa) CaAl_2O_4 is the only stable calcium aluminate. At pressures above 7.0 GPa it has the CaFe_2O_4 -type structure with space group $Pnma$. This phase is one of the prime candidate aluminous phases in the lower mantle of the Earth. We show that at low pressures $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_5A_3) with space group $\text{Cmc}2_1$, CaAl_4O_7 (with space group $\text{C}2/c$) and CaAl_2O_4 (space group $\text{P}2_1/m$) are stable at pressures of up to 2.1, 1.8 and 7.0 GPa, respectively. The previously unknown structure of the orthorhombic "CA-III"



ИДЕМ ЕЩЕ ГЛУБЖЕ!



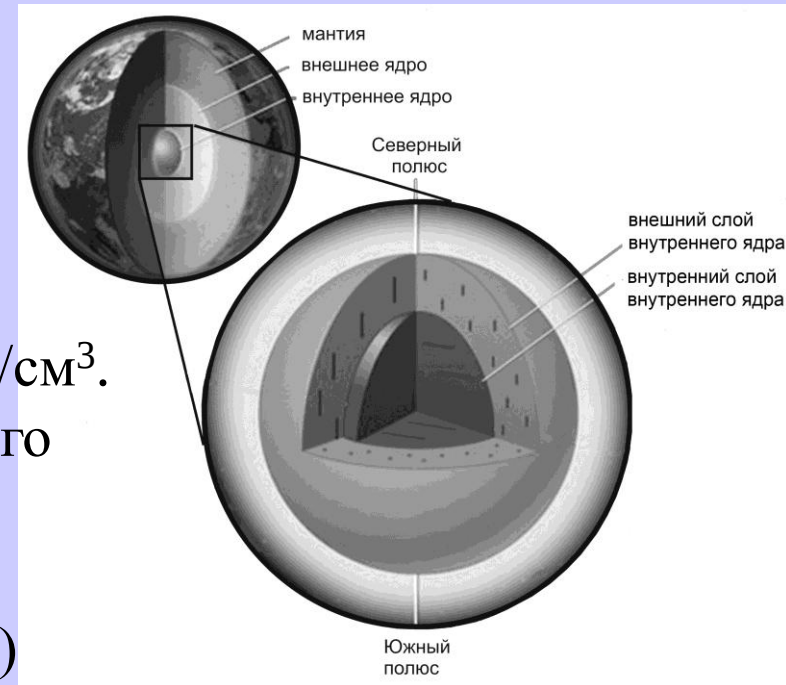
Ядро Земли

На глубине ~2900 км под мантией располагается железо-никелевое ядро.

Оно имеет радиус около 3,5 тыс. км и состоит из двух слоев.

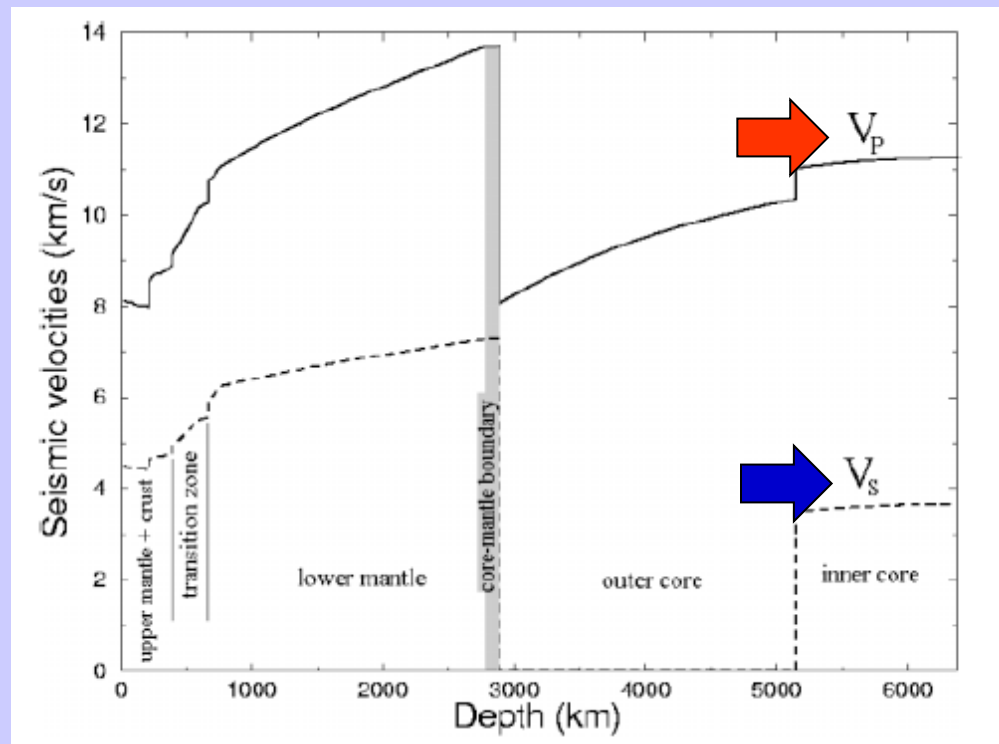
Внешнее ядро - жидкое, его плотность 11 г/см^3 .
Толщина внешнего жидкого слоя (внешнего ядра) достигает ~2,2 тыс. км.

Внутренний слой твердый (1.3 тыс. км) и обладает большой плотностью - 12.5 г/см^3 .



Большинство исследователей до настоящего времени считало, что железо во внутреннем ядре Земли при соответствующих РТ условиях представлено ϵ -Fe, структура которой описывается как ГПУ.

Сейсмические данные



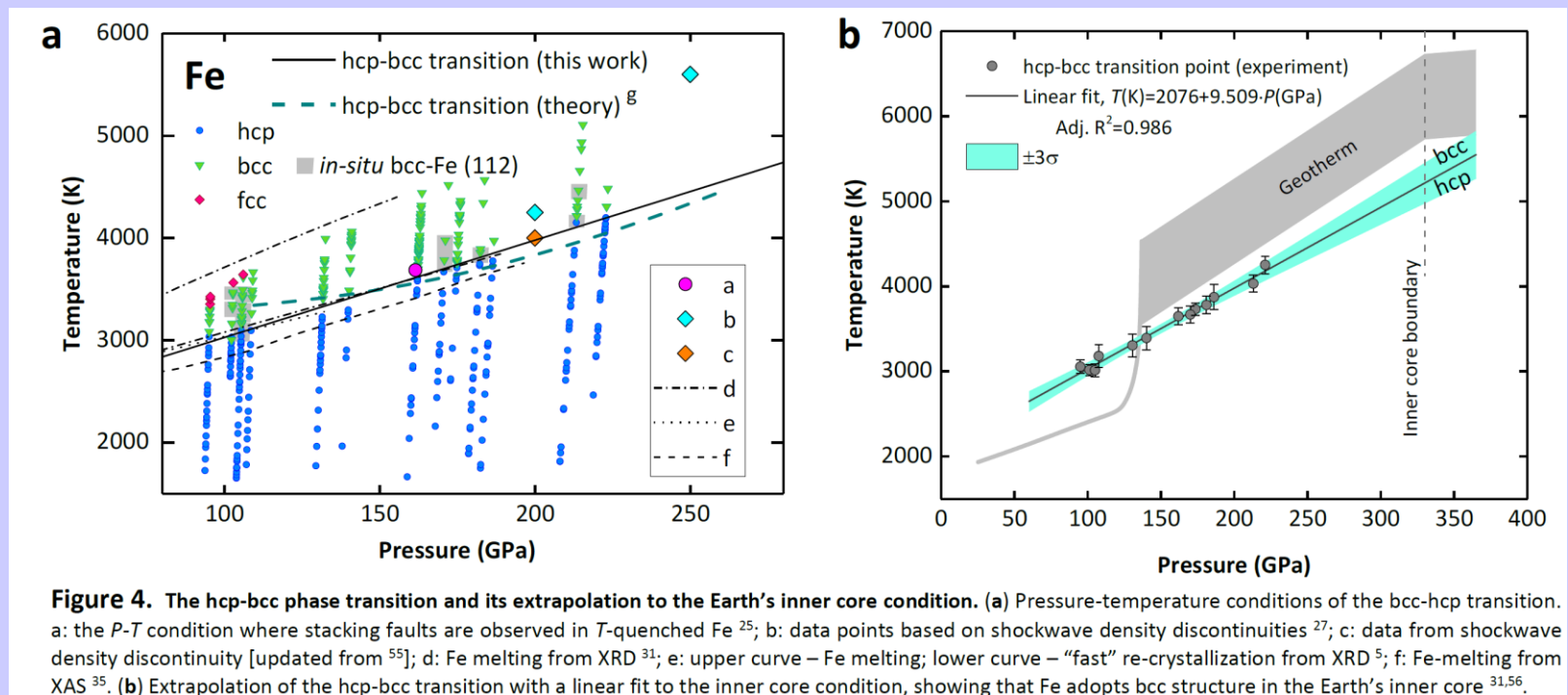
Продольная волна - это волна сжатия и растяжения, а поперечная - это волна сдвига.

Поэтому в жидкостях могут передаваться **только продольные волны**, а **поперечные - нет**, потому что сдвиг слоя жидкости не вызывает деформацию. В твёрдых телах может передаваться как деформация сжатия, так и деформация сдвига. Поэтому твёрдые тела могут передавать и те, и другие волны.

Внешнее ядро – жидкое, а внутреннее – твердое!

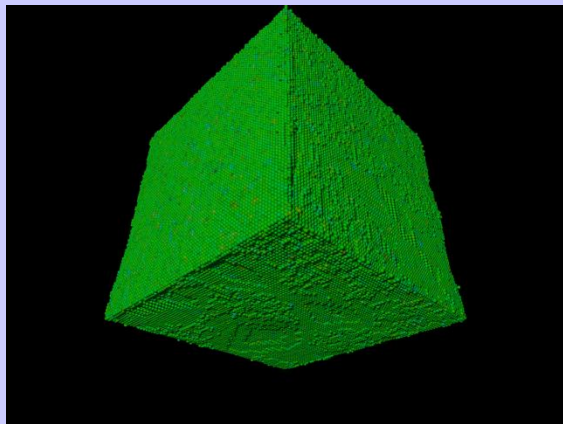
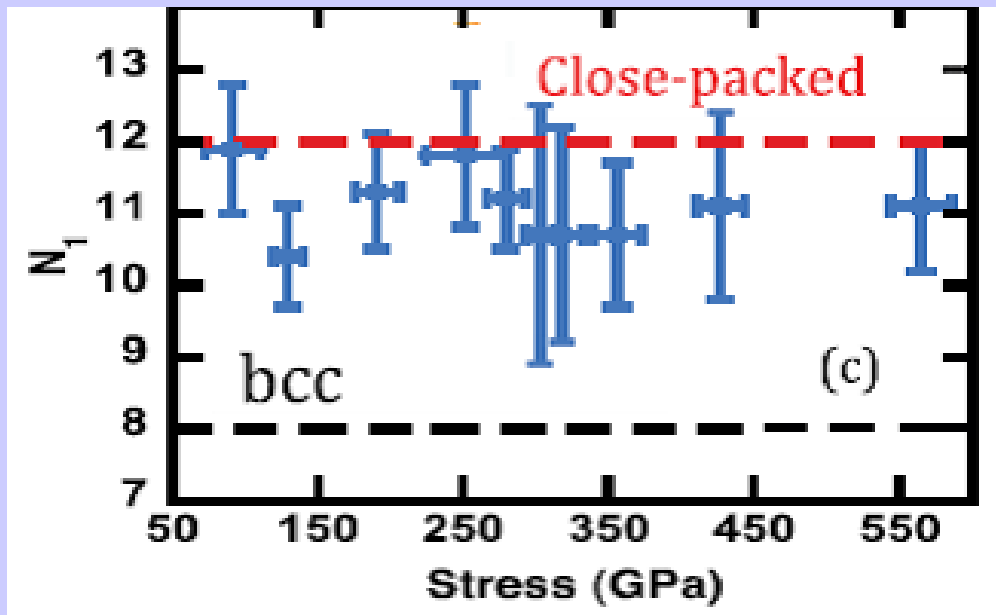
Stabilization of body-centred cubic iron under inner-core conditions

February 2017, Nature Geoscience 10(4), A. B. Belonoshko, T. Lukinov, J. Fu, S. Davis, S. Simak

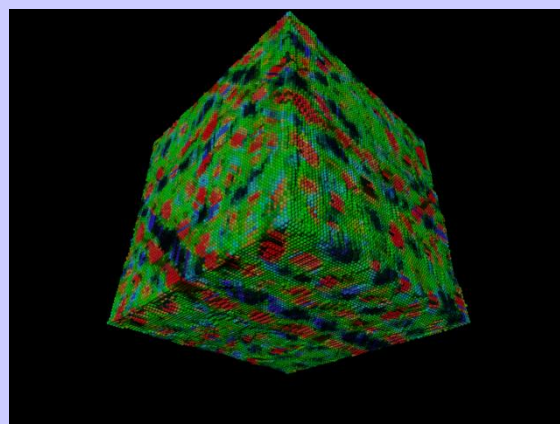


Fe BCC phase is stable at the conditions in the center of the Earth

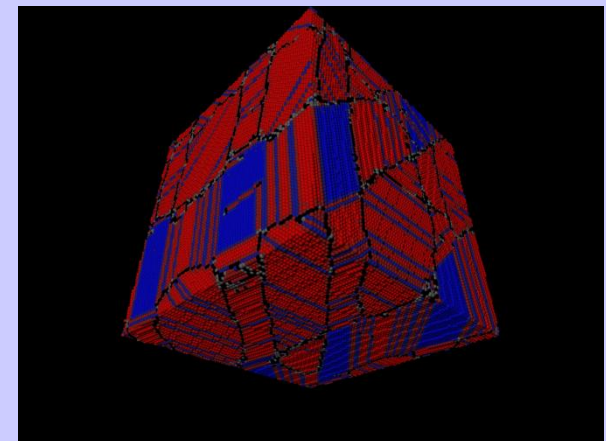
Ядро Земли



Green – bcc



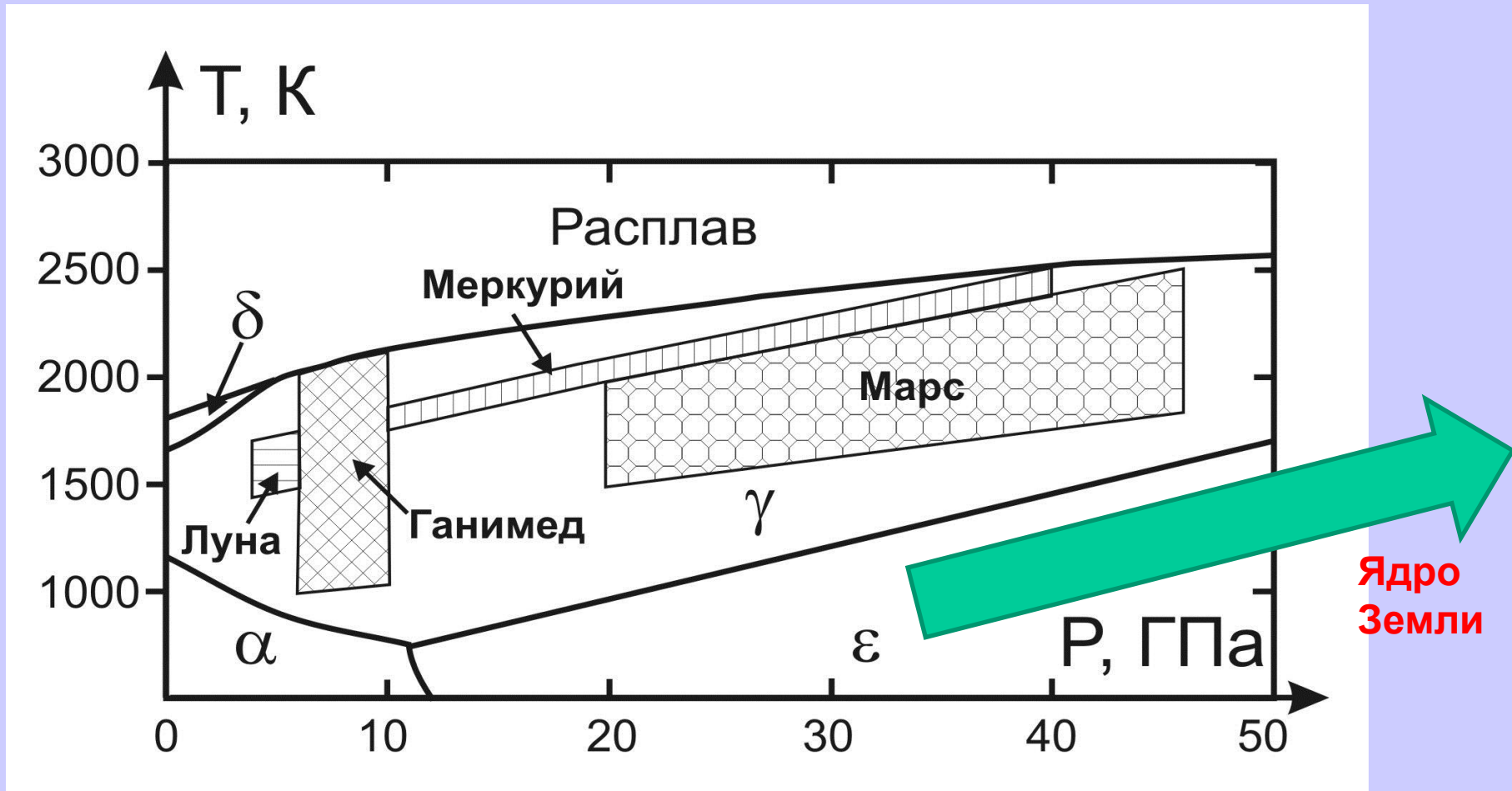
Red – fcc



Blue – hcp

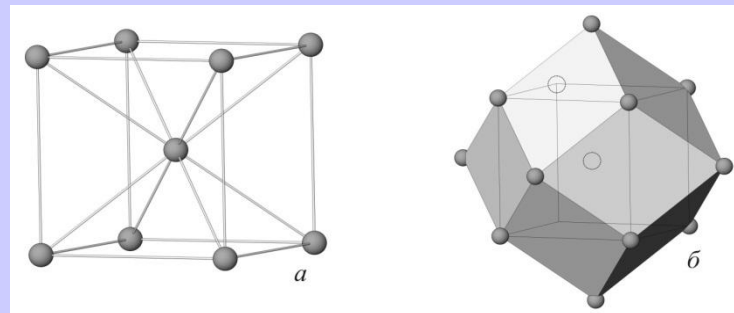
Ядро Земли

По мнению большинства исследователей, железо во внутреннем ядре Земли при соответствующих РТ условиях представлено ϵ -Fe, структура которой описывается как ГПУ.



[illegible]

Fe в ядре Земли



СТ α -Fe
(ОЦК- объемноцентрированная
кубическая упаковка)
Ядро Земли!

Ядро Земли

Плотность внешнего жидкого ядра приблизительно на 10% ниже по сравнению с плотностью расплава железа.

На основании этого сделан вывод, что в состав внешнего ядра входят некоторые легкие элементы (Si, S, O, C и H).

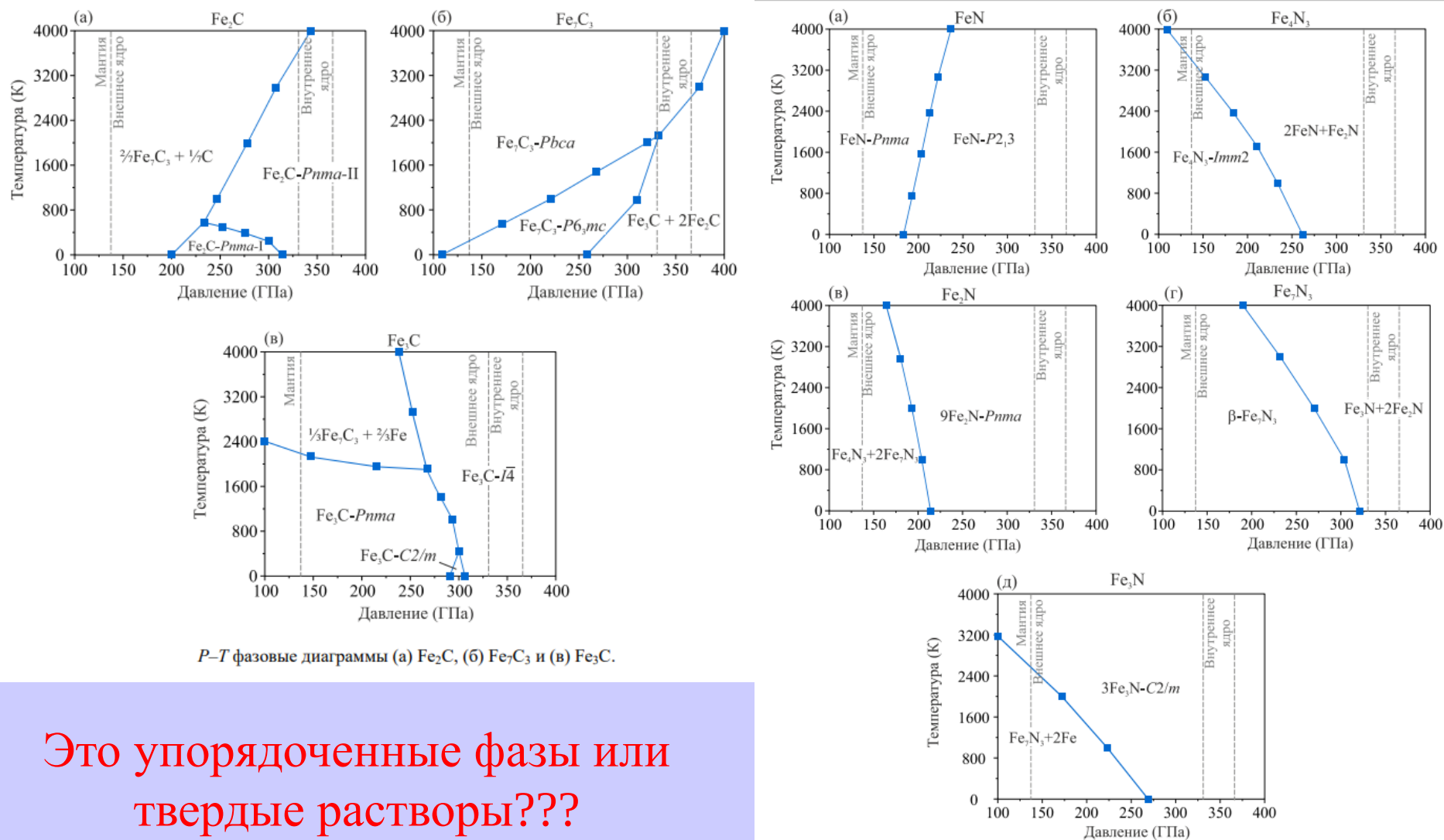
Считается, что внутреннее ядро представляет собой сплав железа и никеля и содержит значительно меньше легких элементов. Содержание Ni оценивается от 5 до 15 мас. %. Как показали эксперименты, сжатие сплава $\text{Fe}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ с I-ячейкой при комнатной температуре сопровождается его трансформацией в структуру с гексагональной плотнейшей упаковкой атомов металла, которая формируется при давлении 10-14 ГПа и сохраняется вплоть до 260 ГПа. Плотность этой фазы составляет 14.35 г/см^3 и близка к ожидаемой плотности фазы $\epsilon\text{-Fe}$ (14.08 г/см^3)



Пусть обоснованные, но
предположения

Ядро Земли

В состав внешнего ядра вероятно входят некоторые легкие элементы (Si, S, O, C, H, N, P).

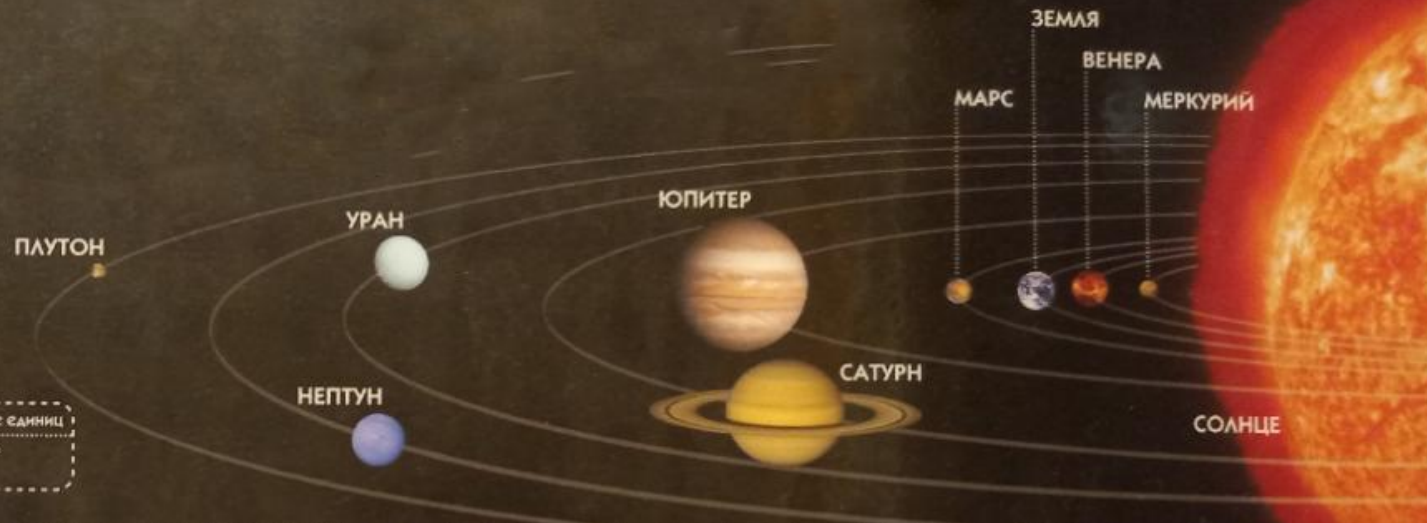


P-T фазовые диаграммы (а) Fe₂C, (б) Fe₇C₃ и (в) Fe₃C.

Рисунок 3.21. P-T фазовые диаграммы (а) FeN, (б) Fe₄N₃, (в) Fe₂N, (г) Fe₇N₃ и (д) Fe₃N.

Это упорядоченные фазы или твердые растворы???

А что в других мирах?



ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

	Меркурий	Венера	Земля	Луна (спутник Земли)	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон	Солнце
Экваториальный диаметр	0,382	0,949	12 757 км	0,273	0,53	11,2	9,41	3,98	3,81	0,24	109,2
Масса	0,06	0,82	$5,9722 \times 10^{24}$ кг	0,0123	0,11	318	95	14,6	17,2	0,0017	333 060,402
Объём	0,056	0,857	$10,832069 \times 10^{11}$ км ³	0,020	0,151	1 321,337	763,594	63,085	57,723	0,006	1 301 018,805
Плотность	0,984	1	5,513 г/см ³	0,607	0,714	0,241	0,125	0,230	0,297	0,372	0,256
Перигелий	0,313	0,731	147 098 291 км	0,00243**	1,405	5,035	9,176	18,593	30,318	30,162	
Афелий	0,459	0,716	152 098 233 км	0,00271**	1,639	5,365	9,885	19,766	29,830	48,496	
Наклон орбиты к эклиптике (градусы)	7,0	3,4	0,0	5,1	1,9	1,3	2,5	0,8	1,8	17,2	
Период оборота вокруг Солнца (дни)	88,0	224,7	365,26	27,3	687,0	4 331	10 747	30 589	59 800	90 588	
Период вращения вокруг собственной оси (земных суток)	58,6	-243*	23 ч. 56 мин.	27,3	1,03	0,414	0,426	-0,718*	0,671	-6,5*	25,38
Ускорение свободного падения, м/сек ²	3,7	8,87	9,80665	1,624	3,71	24,79	10,4	8,87	11,15	0,66	274,0

5,513 г/см³

Параметры в метрической системе единиц

0,607

Параметры указаны относительно их значений для Земли

* Отрицательное значение продолжительности суток означает вращение планеты вокруг своей оси в противоположную, по сравнению с орбитальным движением, сторону.

** Для орбиты Луны, обращённой вокруг Земли

А что в других мирах?

Луна стала **первым объектом космических исследований среди планет и спутников Солнечной системы**.

Для нее получены разнообразные **геофизические данные (скорости распространения сейсмических волн, электромагнитное и тепловое поле)**, и собраны образцы лунного грунта (в результате работы советских автоматических станций Луна и **американских экспедиций** по программе Apollo).



Одна из наиболее реалистичных современных моделей строения Луны

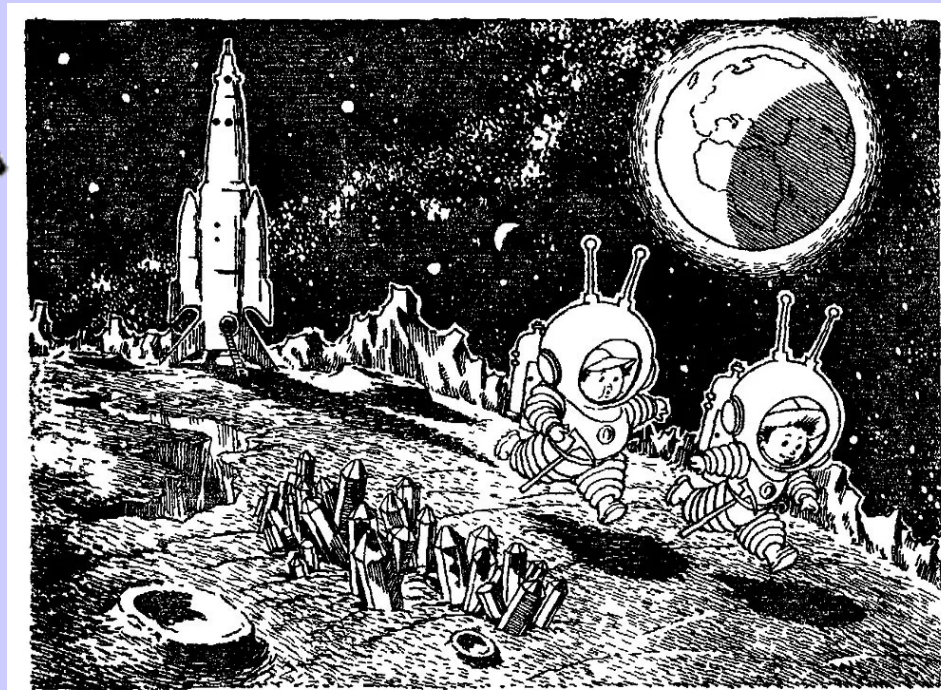
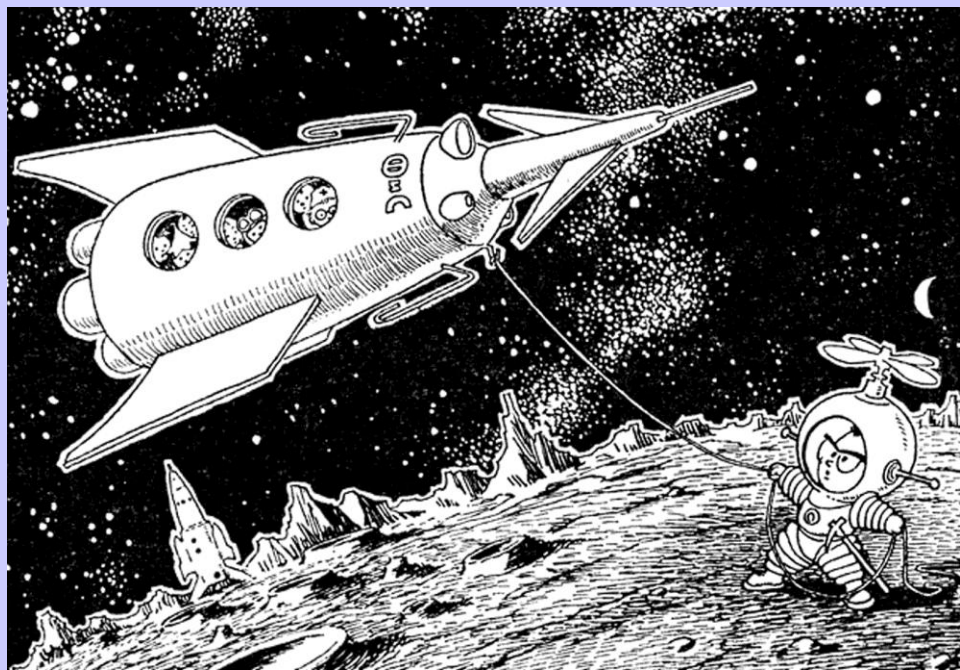


Параметр	Значение
Средний радиус R , км	1737.15
Приведенный момент инерции	0.393112 ± 0.000012
Масса (M , 10^{22} kg)	7.3463 ± 0.00088
Кора	$H_{cr} = 40$ км
Верхняя мантия	$H_u \in [40; 250]$ км
Средняя мантия	$H_m \in [250; 750]$ км
Нижняя мантия	$H_l \in [750; R_{Moon} - R_{core}]$ км
Плотность коры	2.6 г/см^3
Средняя плотность внешнего жидкого ядра	$6,6 \text{ г/см}^3$
Средняя плотность внутреннего Fe-S ядра	$7,2 \text{ г/см}^3$
Средняя плотность ядра	$6,84 \text{ г/см}^3$

КРОНРОД ЕКАТЕРИНА ВИКТОРОВНА (ГЕОХИ РАН)

В 2019 г. защитила диссертационную работу по теме «Термохимические модели состава и внутреннего строения мантии Луны»





МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

Геологический факультет

КАФЕДРА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Москва В-234

Ленинские горы. МГУ. Геологический ф-т

Т. АНГЛ. Н. 343-200

1966

Ректору Московского Государственного
Университета им. М. В. Ломоносова
академику И. Г. ПЕТРОВСКОМУ

Дekanу Геологического факультета МГУ
профессору А. А. БОГДАНОВУ

В соответствии с компетенцией по выявлению кандидатур из
числа научных сотрудников Университета, желающих принять
участие в космических полетах, связанных с изучением Луны,
рекомендую для этой цели ассистенту кафедры полезных ископаемых
кандидату геолого-минералогических наук ЕРЕМИНА Николаю Иосифовичу,
русского, рождения 1932 года, члена КПСС, бывшего офицера
Советской Армии. Личное желание тов. Н. И. Еремина по этому
вопросу имеется.

Заведующий кафедрой
академик

(В. Я. СМЕРНОВ)

В конце 1960-ых годов между СССР и США было самое серьезное космическое противостояние. Известно, что после первых наших побед наметился «крен» на паритет, если не на поражение. Срочно создавалась советская лунная программа с посещением поверхности спутника Земли. В космическом экипаже для посещения поверхности Луны требовался геолог. Из запроса в МГУ и ответа стало ясно, что Н.И.Еремин – самый достойный кандидат. Николай Иосифович несколько месяцев провел в командировке в Звездном городке на подготовке к, увы, так и не состоявшемуся полету. Как известно, после объявленной «**высадки американцев на Луну**» советская лунная программа была немедленно свернута



Член-корреспондент
РАН, профессор,
доктор геол.-мин. наук
Н.И. Еремин
(1932-2020)

Рекомендация кафедры полезных ископаемых о включении
Н.И.Еремина в отряд космонавтов для исследования Луны. 1966 г.

1969 г.

Очень странная и очень смахивающая на мистификацию высадка американцев на Луну

Были ли американцы на Луне?

<https://dzen.ru/video/watch/6176fa510fee8c2d39f94717?f=d2d>



В настоящее время техническая возможность полёта человека на Луну и возврат обратно отсутствует и в США, и в Китае, и в России. И тут напрашивается вопрос: как получилось, что 52 года назад такая техническая возможность была, если сейчас её нет?

В общей сложности США привезли с Луны **391 килограмм якобы лунного** грунта. В 1970-1976 годах советские станции "Луна-16", "Луна-20" и "Луна-24" доставили на Землю **326 граммов** лунного грунта, который хранится в Институте геохимии и аналитической химии РАН.

После своих первых полетов американцы категорически отказывались предоставить СССР образцы лунного грунта в качестве подтверждения реальности своей лунной миссии, мотивируя это тем, что Союзу нечего предложить в обмен на ценнейшие образцы. 24 сентября 1970-го года на Землю вернулась автоматическая станция Луна-16 с первыми образцами лунного грунта. Это поставило НАСА в трудное положение — дальнейший отказ выглядел немотивированным. Наконец в январе 1971-го года подписывается соглашение об обмене (зачем соглашение?), после которого обмен откладывался ещё целых полтора года.

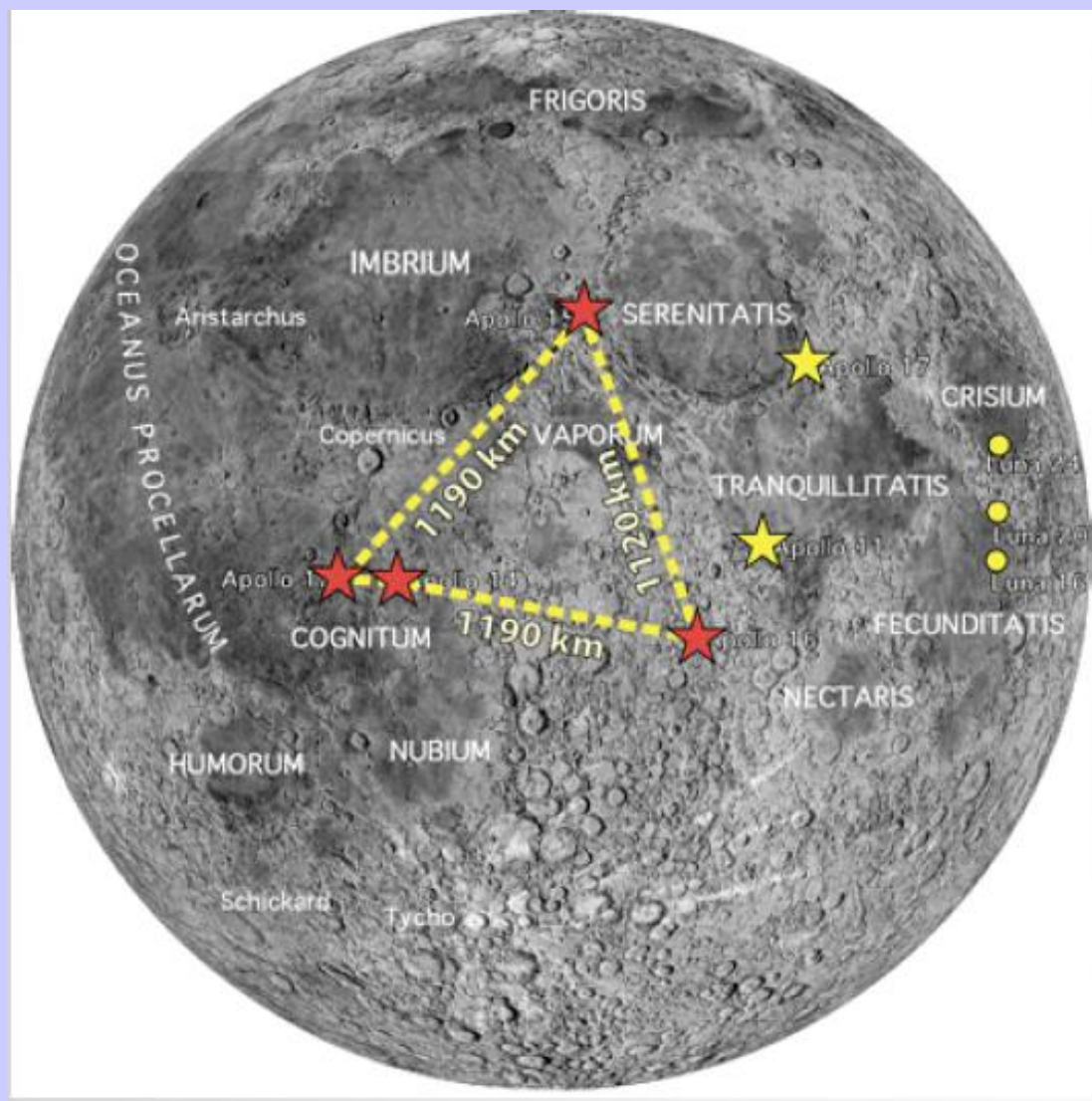
По-видимому, НАСА рассчитывало, что сможет доставить образцы грунта в начале 1971-го года. Но с доставкой что-то не заладилось, и американцы начали «тянуть резину».

В июле 1971-го года СССР в порядке доброй воли в одностороннем порядке передаёт США 3 г грунта из своих 100 г, не получив взамен ничего, хотя официально в кладовых НАСА уже якобы находится 96 кг.

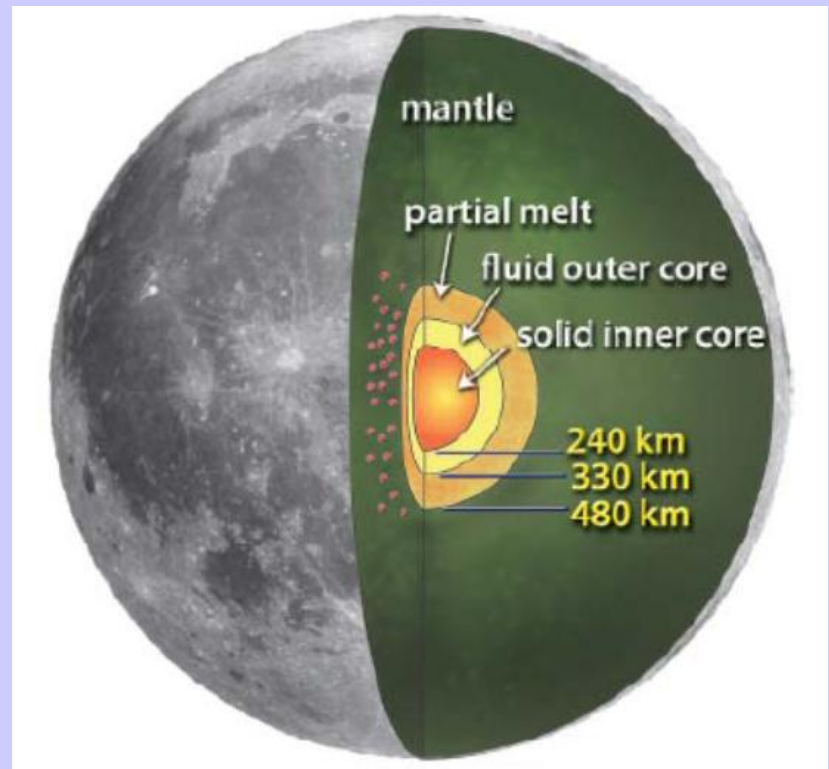
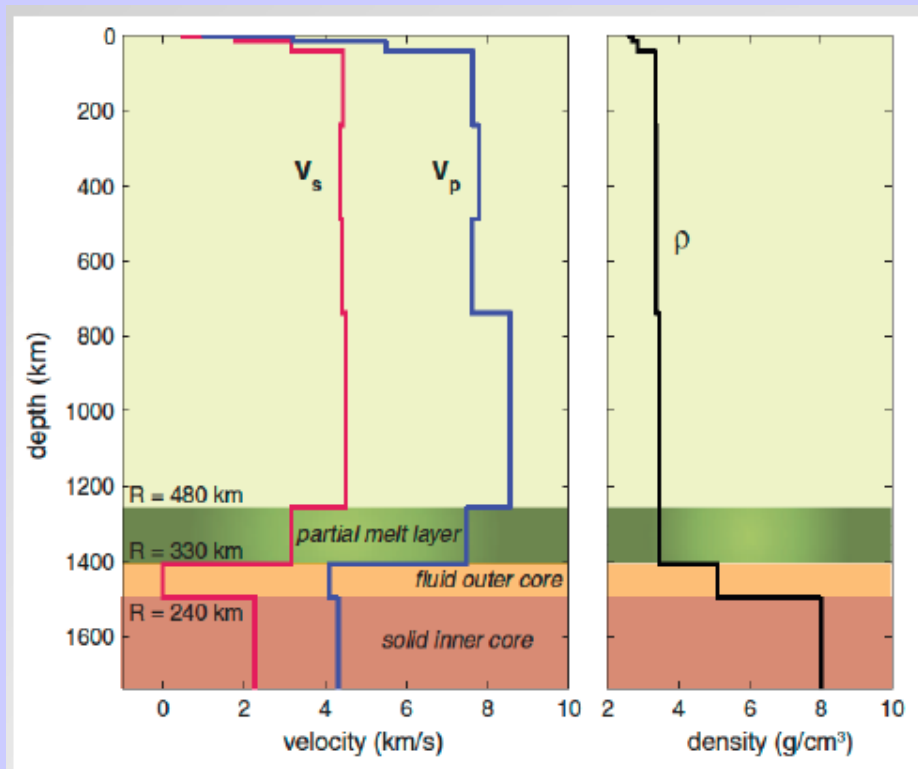
Наконец, 13 апреля 1972-го года состоялся обмен образцами грунта, который доставили на землю Луна-16 и Апполон-15, хотя со времени возвращения на Землю последнего прошло уже восемь месяцев.

О том, чтобы раздавить соперника безвозмездной передачей 10-20 кг камней или хотя бы дать ему удостовериться в их наличии с последующим возвратом, речь, естественно, не шла. Не исключено, что никакого грунта у американцев вообще не было, и обмен грунтом был иллюзорным.

Карта Луны с местами установки приемников сейсмических волн

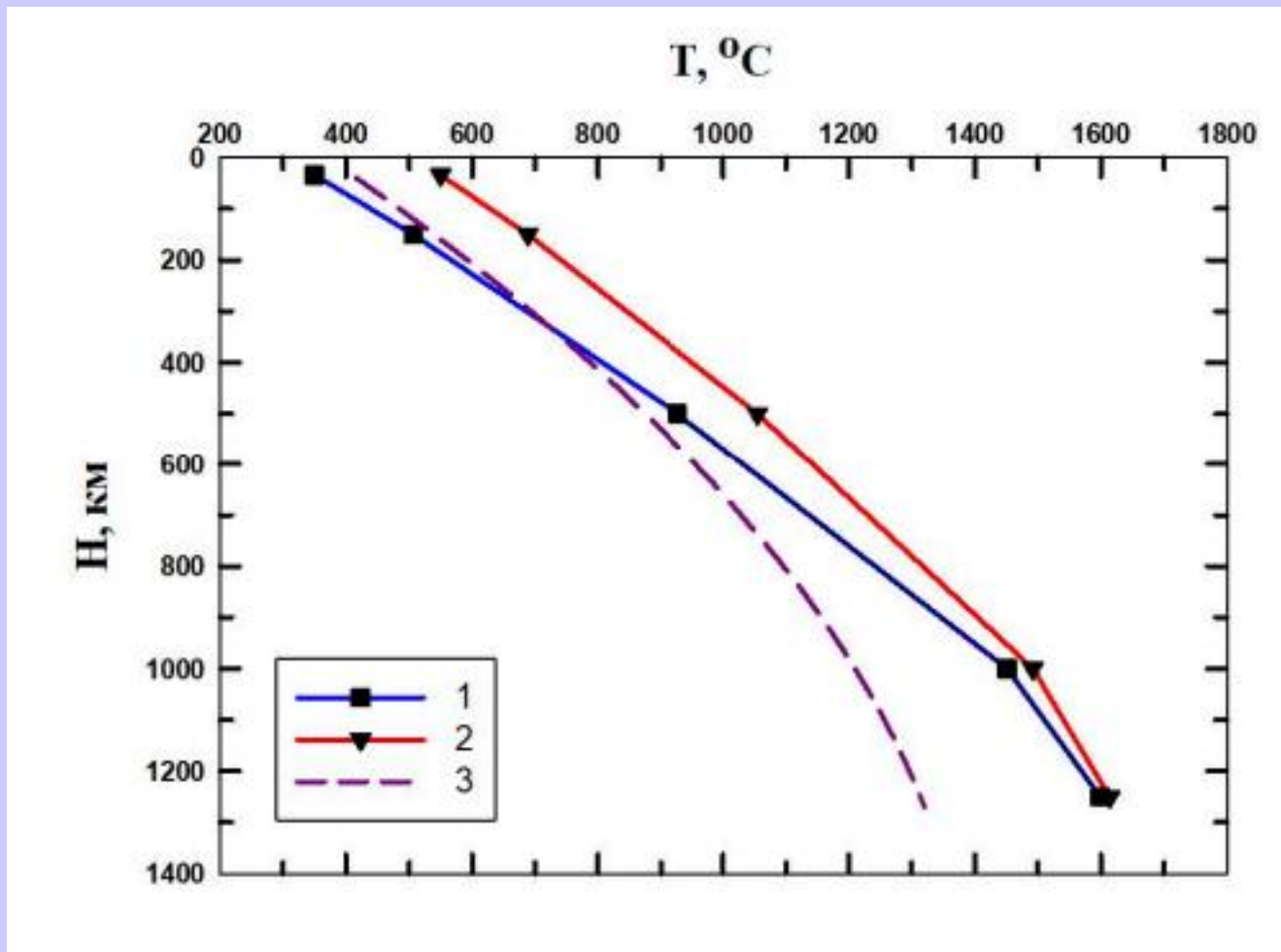


Изменение скоростей сейсмических волн и плотности в глубинах Луны. Корреляция скоростей сейсмических волн и плотности



Радиус Луны – 1740 км. Мантия – до глубины 1240 км. В интервале 1240 – 1410 км – зона частичного плавления. 1410 – 1500 км – внешнее ядро (св-ва жидкости). 1500 – 1740 км – твердое внутреннее ядро. Максимальная плотность Луны – 7.6 – 7.8 г/см³

Температура в мантии Луны по различным оценочным моделям

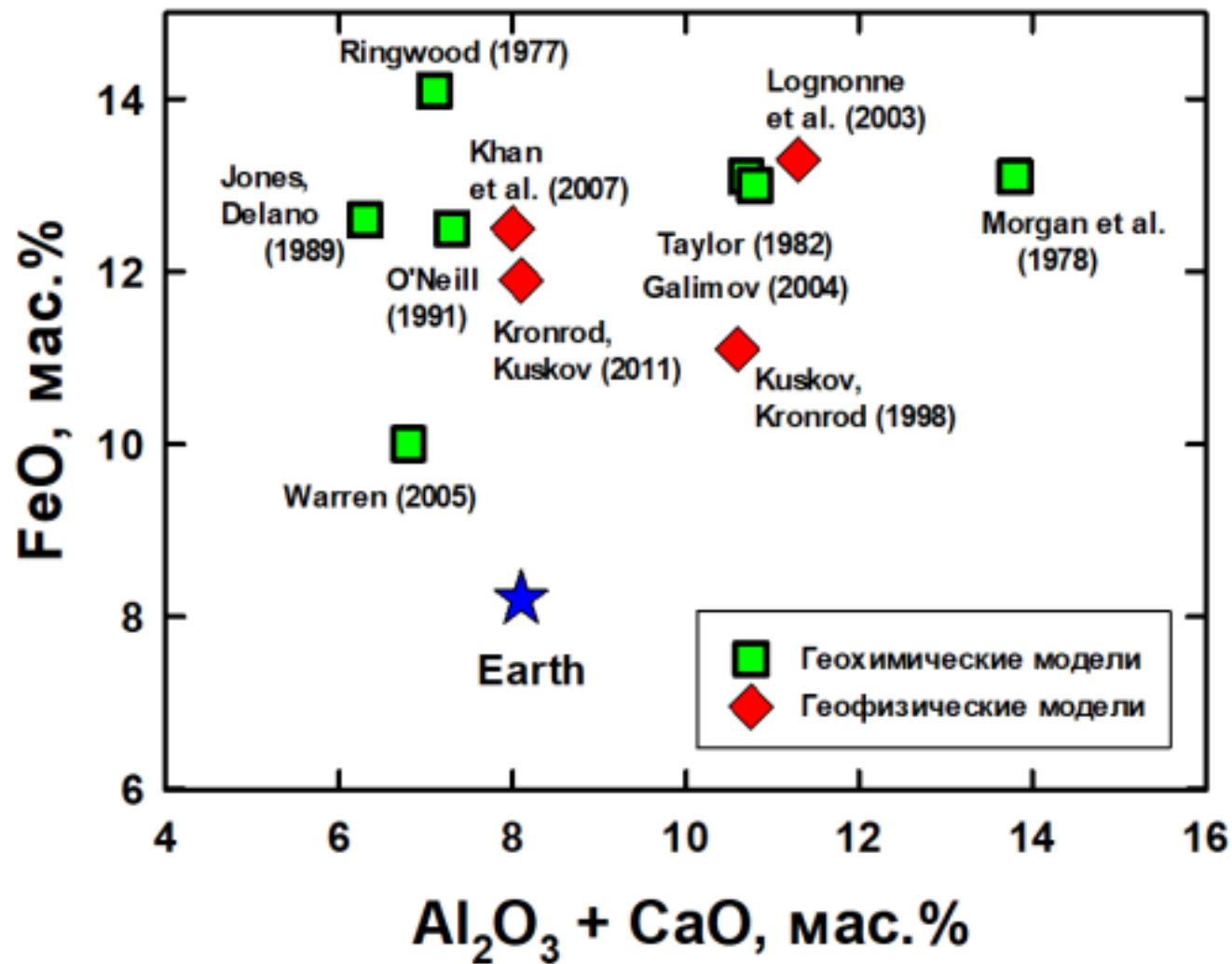


В оценках валового состава Луны используются разные подходы и методы:

1. конденсационные модели
2. петрологические эксперименты
3. геофизические модели
4. геохимические ограничения на элементные отношения и корреляции между содержаниями Th, U и тугоплавких оксидов



В литературе встречаются различные модели химического состава: от состава, подобного ультраосновному веществу верхней мантии Земли, до состава, резко обогащенного Са и Al; содержание FeO варьирует от 6 до 18 мас.%



Геохимические и геофизические модели валового состава Луны (кора + мантия) по литературным данным

- Модели химического и минерального состава мантии Луны зависят от методического (геохимического или геофизического) подхода.
- Существуют противоречия как между геофизическими и геохимическими классами моделей состава Луны, так и внутри обоих классов. Основные из них - оценка концентраций тугоплавких оксидов и FeO.
- Одни исследователи полагают, что Луна обогащена как FeO, так и CaO и Al_2O_3
- Другие считают, что Луна обогащена FeO по сравнению с земной мантией, в то время как содержания CaO и Al_2O_3 почти одинаковы в оболочках Земли и ее спутника



- В начале 70-х годов советские автоматические станции сели на поверхность Луны и вернулись на Землю с образцами лунного грунта.
- Директор ГЕОХИ, крайне бережно относившийся к расходованию для исследований хранившегося в его институте уникального материала, распорядился выделить Урусову 50мг ценнейшего вещества в пробирке, что оказалось прелюдией к сенсационному открытию.



- Анализ спектров принес неожиданный сюрприз. Пик железа раздваивался, указывая на значительную долю металлического железа.
- Мельчайшие частицы железа в лунном грунте образовались на поверхности железосодержащих минералов под влиянием длительного облучения Луны, лишенной атмосферы, солнечным «ветром», т.е. потоком протонов H^+ . Именно они явились факторами восстановления железа до элементарного состояния. Стабилизация частиц железа и их уникальная сопротивляемость окислению на воздухе обязана не только прочному взаимодействию этих частиц с подложкой, но и радикальному изменению свойств такого лунного железа по сравнению с обычным земным железом. Таким образом, по существу, это было одним из первых по времени открытий так называемого наносостояния вещества. Феномен с мелкодисперсным неокисляемым железом, обнаруженном в лунном реголите был зарегистрирован в качестве открытия № 119.
- В 1973 г. академик Виноградов докладывал результаты изучения лунного грунта. Президент Академии Келдыш довольно рассеянно слушал сообщение до того момента, когда Виноградов рассказал об обнаруженном неокисляемом железе. Вот тогда то он необычайно оживился и перебил Виноградова словами: «Александр Павлович, что вы нам рассказываете обо всяких пироксенах и плагиоклазах! Ведь если подтвердится, что можно создать устойчивую на воздухе форму железа, это многократно окупит все наши затраты на Космос!»

А что в других мирах?

Марс – следующий на очереди подробного изучения

(Хотя расстояния весьма неприятные 56 - 400 млн км.

– долго лететь, **можно идиотом стать**)

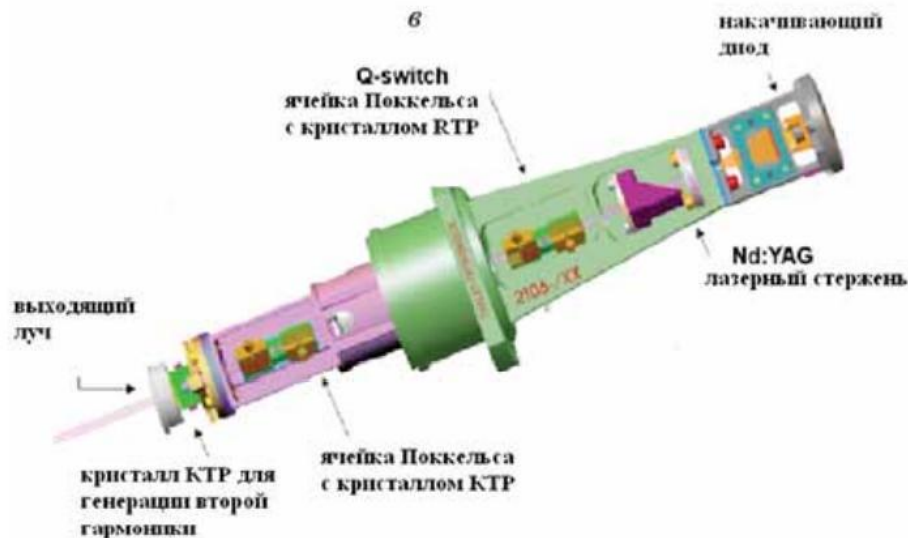
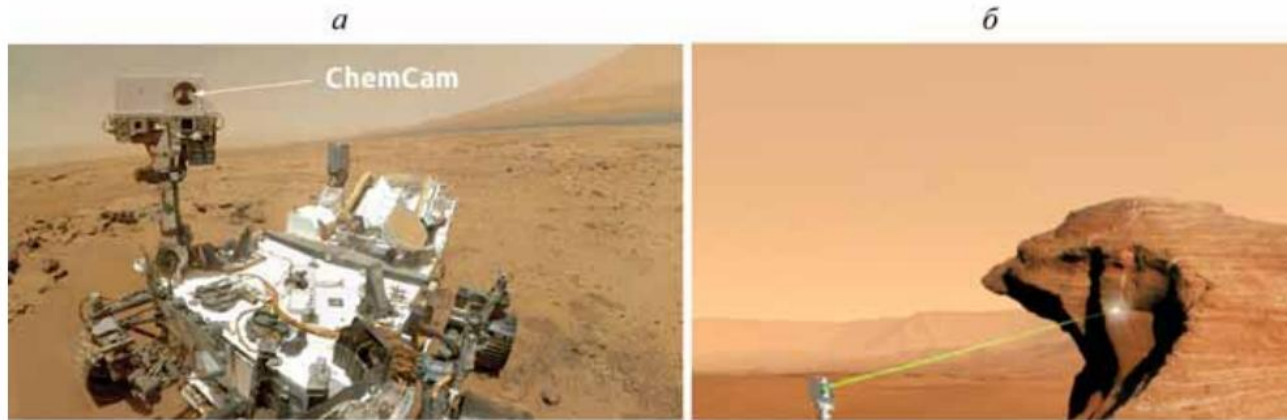
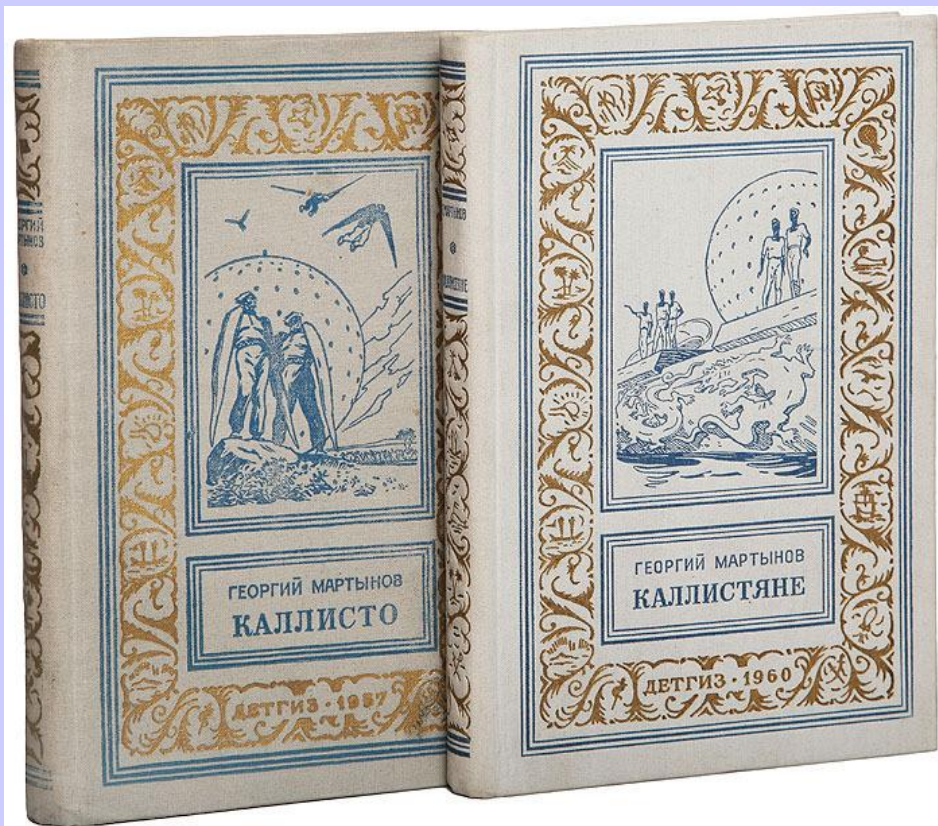


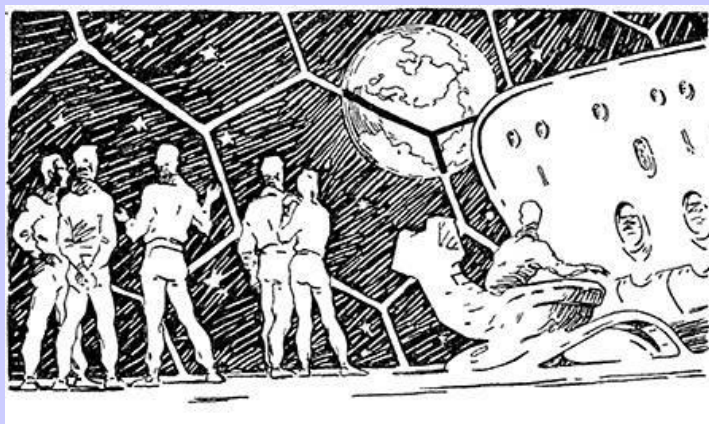
Рис. 19. Мачта с анализатором ChemCam (a); лазерный луч ионизирует породу с расстояния 7 м (б) (URL: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/instruments/chemcam/>); схема устройства лазерного анализатора SuperCam [Maurice et al., 2021] (в). Генерируемый Nd: ИАГ луч направляется на модулятор добротности (Q-switch), функцию которого играет первая ячейка Поккельса, благодаря этому удастся контролировать продолжительность и повторяемость лазерных импульсов

Что делать годы в корабле?

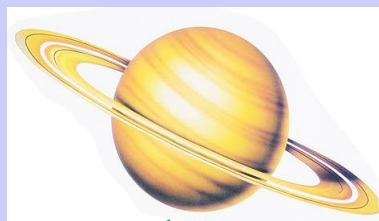


Звездолет летел от Рельоса к Солнцу одиннадцать земных лет!

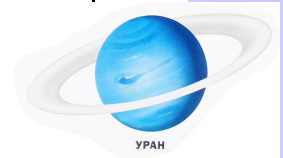
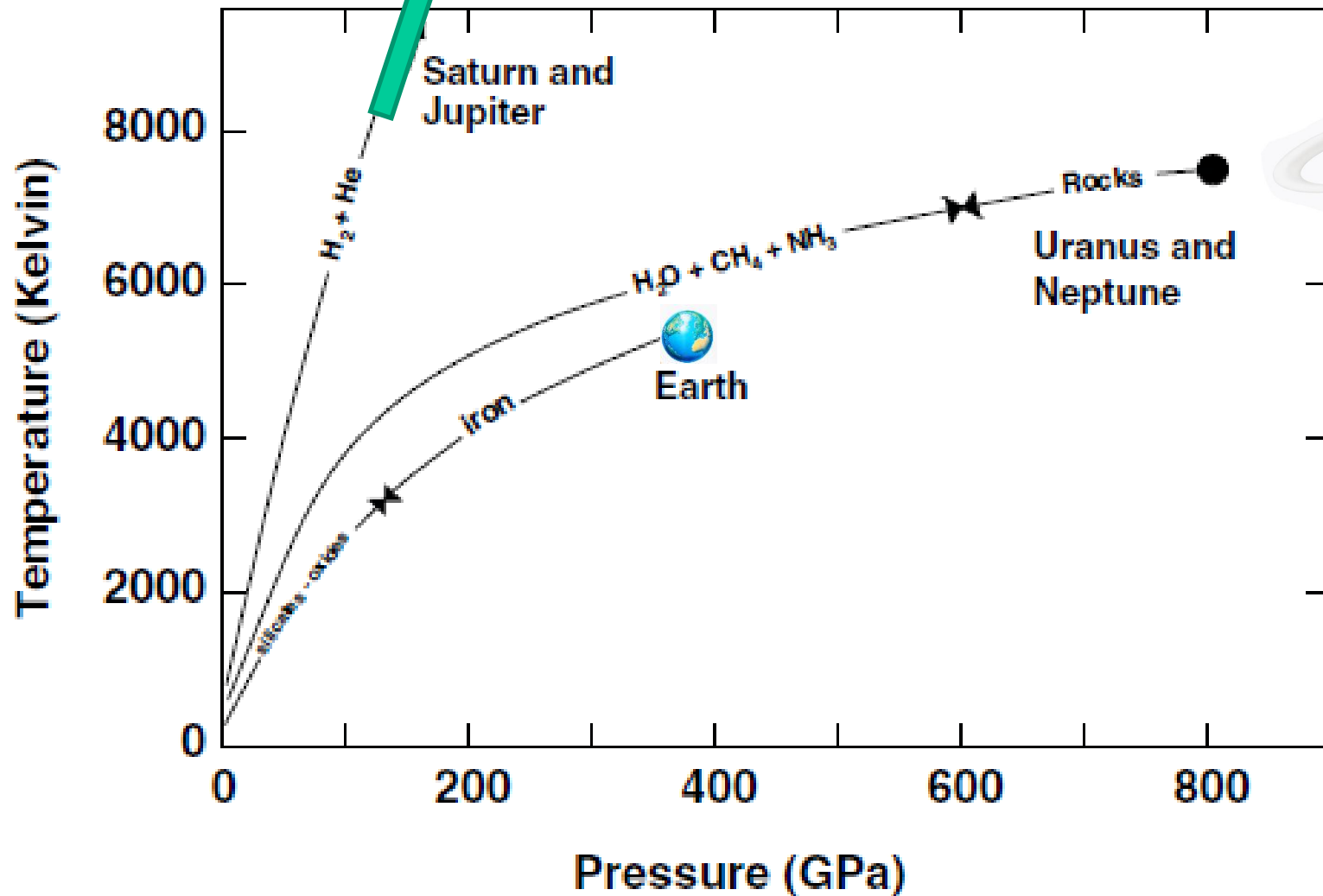
Обратный путь должен был отнять такое же время. Двадцать два года жизни по часам Земли, или одиннадцать по часам Каллисто, отдали эти люди для выяснения вопроса, — есть ли жизнь на соседних планетных системах?



Последний год полета показался экипажу космического корабля длиннее, чем все предыдущие. Чем ближе была желанная цель, тем медленнее шло время.



А что в других мирах?

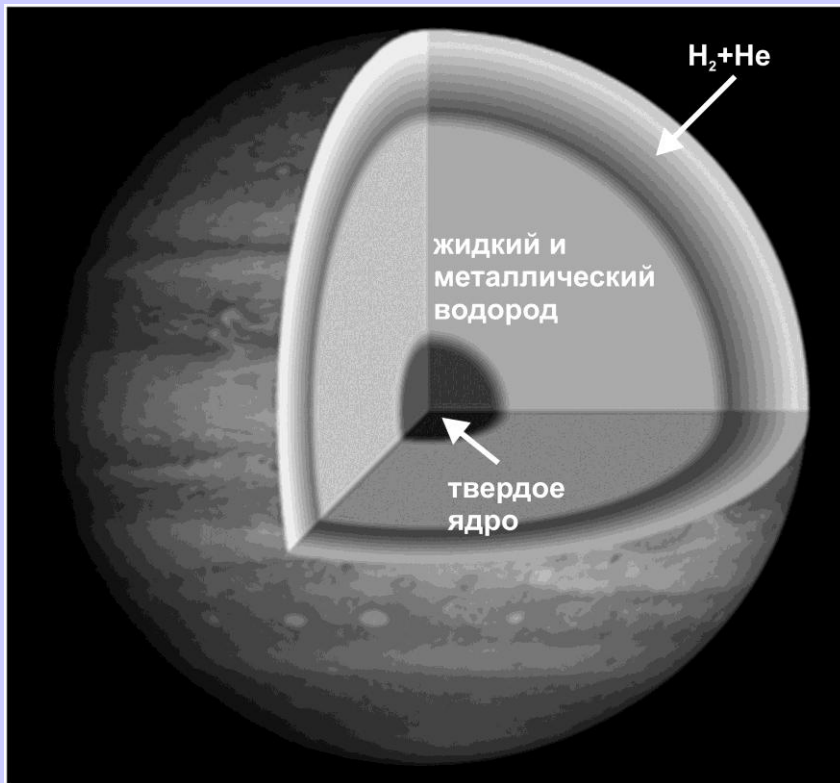


А что в других мирах?

Что же касается планет-гигантов тут огромен простор для исследований. Здесь мы сталкиваемся с совершенно другими мирами

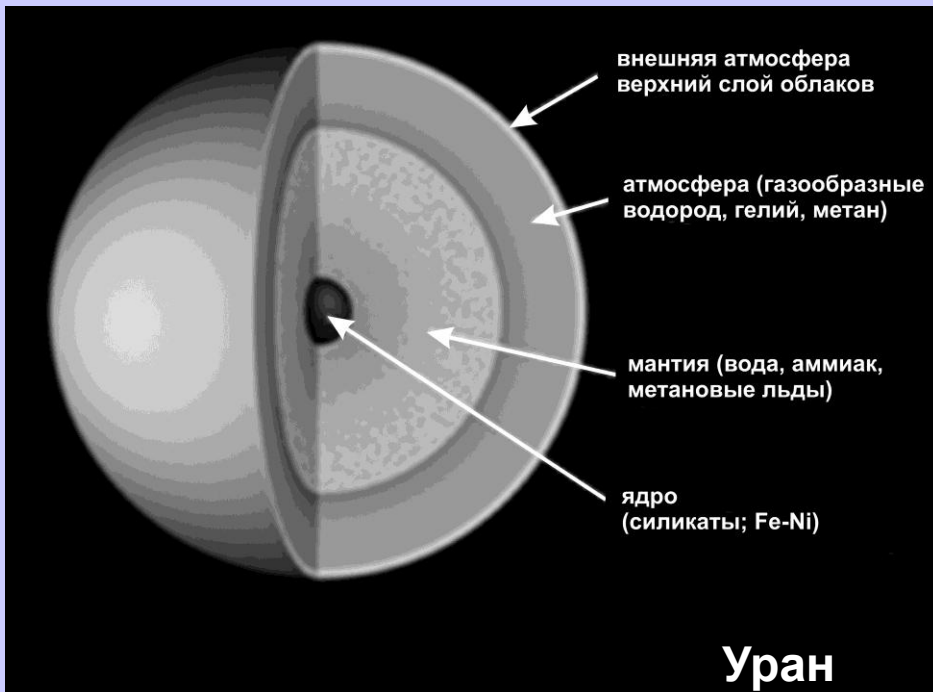


ЮПИТЕР



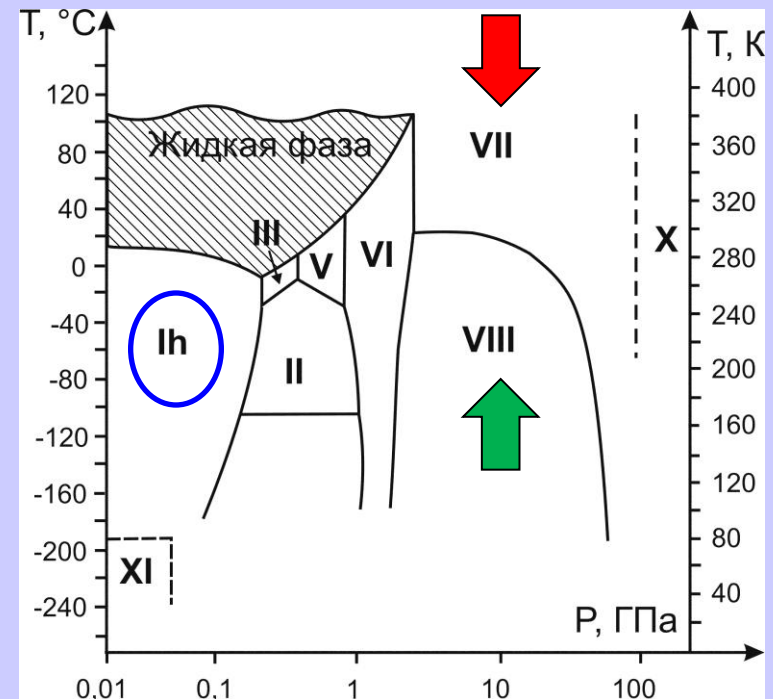
В центре Юпитера может находиться твёрдое ядро диаметром около 20 тыс. км. На данный момент считается, что масса этого ядра ~ 10 масс Земли, а размер $\sim 1,5$ диаметра нашей планеты.

А что в других мирах?



В Уране может
существовать
кубический лед VII и
тетрагональный лед VIII

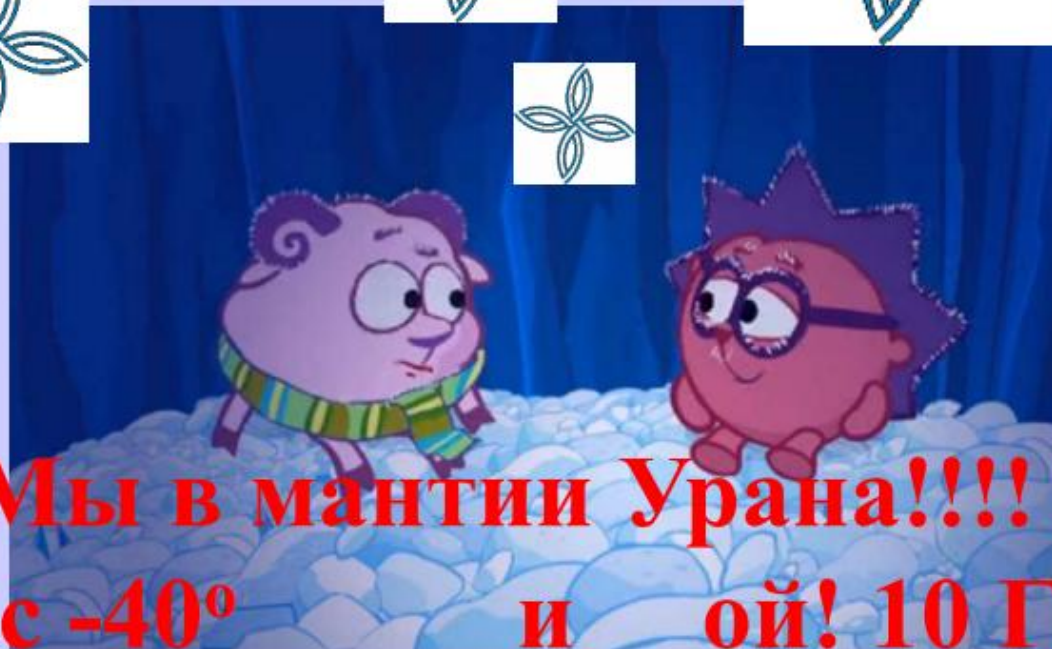
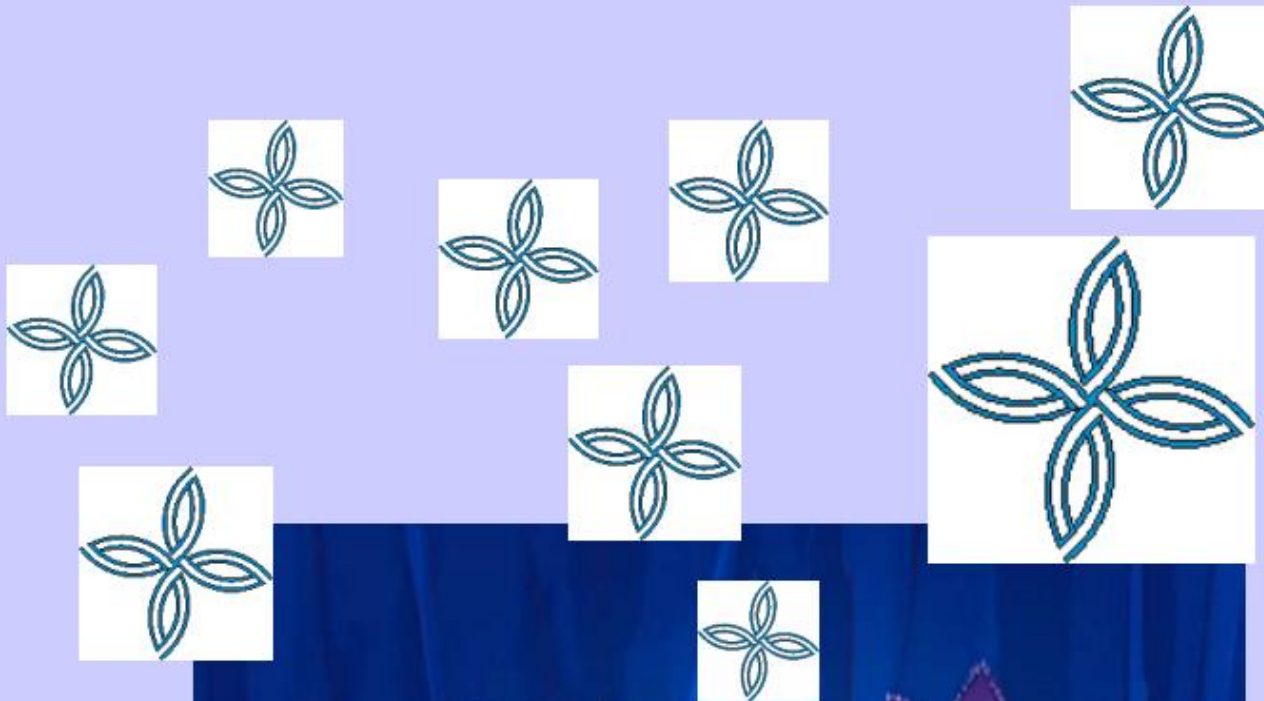
Уран и Нептун содержат в своих недрах «экстремальные» модификации льда, устойчивые при высоких давлениях и температурах.





Мы на Земле

Неприятные новости



Мы в мантии Урана!!!!
У нас -40° и ой! 10 ГПа