

SCI-CONF.COM.UA

TOPICAL ASPECTS OF MODERN SCIENTIFIC RESEARCH



**PROCEEDINGS OF V INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
JANUARY 25-27, 2024**

**TOKYO
2024**

TOPICAL ASPECTS OF MODERN SCIENTIFIC RESEARCH

Proceedings of V International Scientific and Practical Conference

Tokyo, Japan

25-27 January 2024

Tokyo, Japan

2024

UDC 001.1

The 5th International scientific and practical conference “Topical aspects of modern scientific research” (January 25-27, 2024) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan. 2024. 645 p.

ISBN 978-4-9783419-2-1

The recommended citation for this publication is:

Ivanov I. Analysis of the phaunistic composition of Ukraine // Topical aspects of modern scientific research. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Tokyo, Japan. 2024. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-topical-aspects-of-modern-scientific-research-25-27-01-2024-tokio-yaponiya-arhiv/>.

Editor

Komarytskyy M.L.

Ph.D. in Economics, Associate Professor

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine and from neighbouring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

e-mail: tokyo@sci-conf.com.ua

homepage: <https://sci-conf.com.ua>

©2024 Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua” ®

©2024 CPN Publishing Group ®

©2024 Authors of the articles

АТОМНА СТРУКТУРА ЯДРА ЗЕМЛІ

Кондратенко Петро Олексійович

Доктор фізико-математичних наук, професор.
Професор кафедри загальної та прикладної фізики.
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Анотація В статті розглянута інформація про атомну структуру всіх внутрішніх шарів Землі з погляду Стандартної моделі, а також моделі створення Всесвіту з мінімальною початковою ентропією (ВМПЕ). Показано, що Стандартна модель не може адекватно пояснити внутрішню будову Землі, в той час як модель ВМПЕ спроможна детально описати не лише будову Землі, а і атомну структуру кожного шару і процеси, які протікають в них. Показано, що тверде внутрішнє ядро має полікристалічну структуру, яка містить всі атоми з таблиці хімічних елементів. Скалярне Поле продовжує створювати нову речовину, що спричинює протікання радіаційних процесів і нагрівання шарів в Землі.

Ключові слова: модель Всесвіту з мінімальною початковою ентропією, Скалярне Поле, народження хімічних елементів, атомна структура шарів Землі.

При розгляді всіх величких зусиль, направлених на розуміння механізмів і процесів появи важких хімічних елементів на Землі, складається враження, що у фахівців відсутній єдиний підхід до вказаної проблеми. І цей підхід мав би ґрунтуватися на механізмах створення та еволюції Всесвіту. Це могла б бути Стандартна модель [1, 2, 3], яка розвивається впродовж багатьох десятиліть. Могли б використовуватись альтернативні моделі. І, нарешті, можна використати модель створення та еволюції Всесвіту з мінімальною початковою ентропією (ВМПЕ), яку розвиває автор даної статті [4, 5].

Дуже багато уваги приділено розробці Стандартної моделі створення Всесвіту. Оскільки закони і принципи, покладені в основу цієї моделі

суперечать законам фізики [4, 5] (Великий вибух з сингулярності при незмінній масі Всесвіту вимагає, щоб Всесвіт відразу ж опинився всередині чорної діри; порушується закон триєдності простору-часу-речовини; відсутні умови для створення атомів, масивніших за атом заліза тощо), то для спасіння моделі з'являються «вдосконалення» її (інфляційна модель; проблема темної матерії та темної енергії; народження атомів, масивніших за атом заліза тощо), які знову ж таки порушують закони фізики. Така ситуація з моделюванням створення Всесвіту впливає на розуміння будови Землі і, зокрема, ядра Землі. У зв'язку з цим давайте детально розглянемо в рамках законів фізики всі процеси, які спричинили реальну будову Землі і процеси, що протікають в ній, щоб зрозуміти будову ядра Землі і процеси, які протікають в ядрі.

Утворення хімічних елементів в Стандартній моделі

Згідно зі Стандартною моделлю створення Всесвіту він виник внаслідок Великого Вибуху із сингулярності фундаментального об'єму, в якому була вміщена енергія, еквівалентна всій майбутній масі Всесвіту, що характеризувалася дуже високою температурою ($\sim 10^{28}$ К [6]). Надзвичайно великою була і початкова ентропія такого Всесвіту ($S_0 = 10^{88}$ Дж/К [7]).

По мірі розширення такого Всесвіту в ньому спочатку народжувались кварки і лептони, а потім протони і нейтрони. Важливо, що крім частинок народжувались античастинки, проте не зрозуміло, куди вони поділись. Розширення Всесвіту супроводжувалося його охолодженням, внаслідок чого електрони об'єднувались з протонами, утворюючи атоми водню. Подальше розширення Всесвіту спричинило флуктуацію густини речовини (хмар водню), що привело до створення зірок. Стискування речовини привело до значного підвищення температури в центральних областях зірок і, як наслідок, почався термоядерний синтез гелію і важчих ядер аж до ядра атома заліза. Подальший синтез важчих ядер виявився енергетично не вигідним.

Можливо з цієї причин геологи вважають, що ядро Землі містить в основному атоми заліза [8, 9]. Моделювання в лабораторних умовах процесів відбивання ультразвуку від шарів на різних глибинах дозволило вичленити

ядро Землі, яке складалось із внутрішнього і зовнішнього ядра, а також мантії, верхньої мантії та літосфери. Відбивання ультразвуку від поверхні кожної сфери дозволяло моделювати її склад і стан. При цьому відбивання ультразвуку від ядра Землі дозволило припустити, що ядро Землі складається з суміші речовин, точніше: заліза ~85%, нікелю ~10%, кремнію ~5%.

Радіус зовнішнього ядра складає 3486 км, а внутрішнього - 1216 км. Внутрішнє ядро тверде, а зовнішнє рідке. Це впливає з того, що поперечні хвилі практично не проходять через зовнішнє ядро, а для внутрішнього ядра знайдена анізотропія, характерна для кристалічної структури. Крім того, густина речовини в зовнішньому ядрі збільшується зі зменшенням відстані до центра Землі.

Існує думка, що в ядрі існують важкі радіоактивні ядра, включаючи уран [10]. Щоб пояснити існування важких ядер в об'ємі Землі (від заліза до плутонію) науковці декларували, що такі ядра виникають при вибухах наднових зірок. Як наслідок цих вибухів у Космосі існують хмари пилу, метеорити, астероїди тощо. Звичайно, підтвердження такої думки відсутнє. Більше того, можна заперечити, що така модель відповідає дійсності, оскільки кожна зірка має планетну систему, а вибухи наднових – це дуже рідкісний процес. Крім того, не знайдено метеоритів, до складу яких входять хімічні елементи з кінця таблиці хімічних елементів.

Легко показати, що термоядерні реакції в зірках лише теоретично мають можливість створити ядра атомів заліза, а практично це нереально. Тим не менше, в Стандартній моделі такий механізм утворення атомів вважається доведеним за замовчуванням. І якщо в зірках народжуються ядра атомів кисню, то вони з часом перетворюються на атоми кисню і, провзаємодіявши з атомами водню, утворюють молекули води.

Звичайно, така модель має багато суттєвих недоліків. По-перше, при народженні Всесвіту відразу повинен опинитися всередині чорної діри. По-друге, стягування водневих хмар в масивні зірки вимагає зниження ентропії Всесвіту, що суперечить другому закону термодинаміки. По-третє, що ж

заставило зірки обертатися навколо власної осі, а також обертатися навколо центра галактики, яка з'явилася з невідомої причини.

Далі, виявляється, що навіть в термоядерних зірках, температура в центрі яких перевищує 10^9 К, реакції синтезу важких ядер (до ядра заліза) протікають дуже повільно. Тому можливо, що за час існування Всесвіту, процеси синтезу не дійшли до створення атомів заліза.

За оцінками в центрі Сонця температура може становити $15 \cdot 10^6$ К і швидко спадає при віддаленні від центра. Найпростіша реакція нуклеосинтезу, при якій чотири протони зливаються в ядро гелію, протікає при температурах $(10 \div 14) \cdot 10^6$ К. Вказаний діапазон температур знаходиться в центральній частині Сонця з радіусом $5 \cdot 10^4$ км [11], що складає $1/14$ радіуса Сонця.

Крім того, якщо реакція протікає лише в центральній частині Сонця, то на його поверхню атоми гелію могли б ще й не вийти. В такому разі потрібно відповісти на питання: чому на поверхні Сонця частка гелію складає $\sim 25\%$; звідки взяли у фотосфері Сонця кисень (0,77%), вуглець (0,29 %), залізо (0,16 %), неон (0,12 %), азот (0,09 %), кремній (0,07 %) та інші хімічні елементи? [12]

Вчені вважають, що важкі атоми, включаючи уран і плутоній, народжуються при вибухах наднової зірки. При цьому доведення існування такого механізму створення важких ядер не існує.

Як правило, астрофізики розглядають створення зірок та планет з речовини, яка виникла внаслідок вибухів наднових зірок. І рідко розглядають всі процеси, які протікають при зореутворенні з самого початку, від Великого Вибуху. При цьому виявилось, що біля всіх зірок є планети, які можуть містити ті ж хімічні елементи, які є на Землі.

Таким чином, існуючі теорії і моделі неспроможні адекватно пояснити будову Всесвіту, а також утворення хімічних елементів та їхніх сполук.

Утворення хімічних елементів в моделі ВМПЕ.

Модель ВМПЕ враховує всі закони фізики і використовує Закони єдності та подібності [4, 5]. Такий підхід до розробки нової моделі забезпечував

вимогу, згідно з якою радіус Всесвіту весь час повинен суттєво перевищувати його гравітаційний радіус. Для реалізації такої вимоги Всесвіт уявляється як складова частина Супер-Всесвіту, представленого розшарованим простором, між шарами якого існує лише інформаційна взаємодія через одну делокалізовану точку. Ці шари мають різну просторову розмірність: нульвимірний простір (Світ-1), одновимірний простір (Світ-2), двовимірний простір (Світ-3) і наш тривимірний простір (Світ-4). Крім того, Світ-2 має два згорнутих просторових виміри, Світ-3 – один згорнутий просторовий вимір, а наш Світ-4 – три згорнуті просторові виміри. Часовий та інформаційний виміри спільні для всіх шарів розшарованого простору. Ці шари не перетинаються і мають окремі просторові виміри [4, 5].

Згідно з цією моделлю у Всесвіті відразу народжувались частинки і не народжувались античастинки. Таку властивість має Скалярне Поле [13], яке вносить у Всесвіт енергію та програму створення Всесвіту. Скалярне Поле здатне входити у всі шари розшарованого простору. А тому Світ-1 має 12 згорнутих просторових вимірів. Стільки ж просторових вимірів має і Скалярне Поле. Скалярне Поле входить через Світ-1, згорнуті координати якого формують обертальний момент Поля. Воно вносить енергію через Світ-1, потім енергія «переливається» у Світ-2, і послідовно у Світ-3 та Світ-4. При цьому Світ-4 починає заповнюватись частинками не відразу, а через час $3 \cdot 10^{-5}$ с. В момент початку заповнення Світу-4 густина речовини має величину, близьку до ядерної густини. Початкова температура народжених частинок дорівнює нулю. А звідси і мінімальна величина ентропії в момент народження Світу-4. Початкова речовина у Світі-4 виявляється фрагментованою на зародки майбутніх зірок, які отримують від Скалярного Поля великий обертальний момент. Більш того, матерія у Всесвіті відразу має фрактальну структуру, тобто зародки майбутніх зірок об'єднані в зародки майбутніх галактик.

Скалярне Поле породжує у Світі-2 діони – частинки Планка, які мають електричний і магнітний заряди. У Світі-3 Скалярне Поле породжує кварки, а в нашому Світі-4 воно породжує бінейтрони в синглетному стані в околі вже

існуючих нуклонів [14]. Всі простори починають одночасно розширюватись як брани просторів з більшою на одиницю кількістю просторових вимірів [15]. При цьому радіуси цих просторів збільшуються зі швидкістю світла. Будучи бранами, всі шари розшарованого простору мають обмежені об'єми. А тому наш Всесвіт має обмежений об'єм, тобто він закритий [16].

Скалярне Поле не лише створює частинки, а і забезпечує наявність маси у частинок. Воно ж забезпечує анігіляцію частинки з античастинкою, створюючи при цьому частинку вакууму, у якої всі квантові числа дорівнюють нулю [16]. Така частинка не може поглинати електромагнітну хвилю. Проте, таке поглинання з утворенням вільних частинки та античастинки можливе, якщо вакуумну частинку поляризувати в сильному електростатичному полі атомних ядер, що і спостерігається в експериментах. В той же час віртуальні частинки, відповідальні за фундаментальні взаємодії, може створити лише Скалярне Поле.

А тепер давайте подивимось, яких хімічних елементів не було б, якби вони народжувалися внаслідок термоядерного синтезу. Сюди відносяться широко відомі атоми: Ni, Cu, Zn, Se, Ag, Sn, W, Pt, Au, Hg, Pb, U, Pu. Існують цілі родовища, в яких є великий вміст цих атомів, що дозволяє широко використовувати їх в промисловості. То як же вони були створені насправді?

В статті [14] детально описуються процеси, відповідальні за створення цих атомів з погляду моделі ВМПЕ. Коротко в нашому Всесвіті (Світі-4) це виглядає так. Спочатку створюється простір, заповнений вакуумними частинками. Радіус цього простору розширюється зі швидкістю світла. Потім Скалярне Поле вносить в нього енергію, яка породжує бінейтрони в синглетному стані з постійною швидкістю, рівною 5000 сонячних мас за секунду [4, 5]. Великий потік Скалярного Поля спричинює збудження вакуумних частинок з утворенням пар частинка-античастинка. Нові бінейтрони утворюються в околі існуючих нуклонів. Таким чином швидко збільшується маса початкових зародків майбутніх зірок. Великий надлишок нейтронів приводить до радіоактивного розпаду з виділенням електронів, протонів,

α -частинок і вільних нейтронів. Так утворюється водень і гелій. Частина електронів і протонів викидається за межі зародку, а інша частина залишається в ньому. Так виникають важкі атомні ядра, заряд яких в перші моменти може суттєво перевищувати заряд ядер урану. Надлишок нейтронів у складі цих ядер приводить до відомого спонтанного розпаду ядер на легші фрагменти. Як правило, дочірні ядра теж виявляються радіоактивними, внаслідок чого список народжених хімічних елементів швидко росте.

З часом загальна кількість нуклонів швидко збільшується. Тому при надходженні енергії з постійною швидкістю ймовірність народження бінейтрона в околі атомного ядра зменшується, внаслідок чого стабілізується звужений список ізотопів атомних ядер. Так утворюються всі проміжні атомні ядра від водню до урану в межах зародку зірки.

Другий механізм утворення атомних ядер використовує вторинні ядра, народжені в первинному розпаді важких ядер. В цьому випадку народження бінейтрона в околі вторинних ядер, зокрема протонів спричинить появу ядер тритію і легкого гелію. Далі продовжиться цей ланцюг реакцій з утворенням важчих ядер і зокрема кисню, азоту та аргону, які складають основу земної атмосфери. При цьому в умовах Землі основна маса кисню з'єднана з атомами водню (гідросфера Землі), а також формує окисли відомих елементів, які складають основу всієї Землі. Список відповідних процесів наводиться в статті [14].

На Сонці всі вказані реакції існують, проте внаслідок високої температури в об'ємі Сонця молекули не можуть існувати. Більше того, навіть атоми іонізовані, тобто об'єм Сонця містить лише плазму. Атоми існують лише в атмосфері Сонця. Зрозуміло, що згідно з класичним термодинамічним розподілом Максвелла-Больцмана важкі атоми будуть локалізуватися переважно в центрі Сонця, а легкі проявлятися поблизу поверхні. Продовження створення речовини за рахунок Скалярного Поля (близько $4,76 \cdot 10^{12}$ кг/с [4, 5]) одночасно породжує і протікання радіоактивного розпаду важких ядер. Це забезпечує постійну в часі випромінювальну здатність Сонця. Отже, в центральних

областях Сонця протікає звичайна ядерна реакція. Ядерна реакція в глибоких ділянках Сонця і забезпечує постійну випромінювальну здатність Сонця впродовж мільярдів років. Іноді накопичення важких ядер спричинює ядерні вибухи, які спостерігаються на поверхні Сонця. Зауважимо, що термоядерна реакція в центрі Сонця не може спричинити вибухи на поверхні Сонця. Таким чином, підтверджується ідея М. Козирєва, згідно з якою зірки виконують лише роль машини з перетворення енергії [17], що надходить до них ззовні, у випромінювання в навколишній простір.

Зрозуміло, що такі ж процеси відбуваються і в Землі, внаслідок чого магма має високу температуру, при якій речовина знаходиться в стані в'язкої рідини, незважаючи на великі тиски і температуру. В рідкій фазі важкі атоми концентруються ближче до центру. Крім того, може відбуватися концентрування важких атомів за рахунок створення кристалів. Цей процес є енергетично вигідним. Оскільки оточення кожного кристалу робить його відкритою системою, то надлишок ентропії переходить в оточуючу рідину. Наявність процесу кристалізації атомів у магмі підтверджується створенням алмазів з атомів вуглецю. Коли в земній корі з'являються розломи, алмази виходять на поверхню Землі.

При створенні зародка планети в її центрі ще не було виділення твердої фази. Вона з'явилась з часом, коли почались процеси кристалізації важких хімічних елементів. Так виникло внутрішнє тверде ядро Землі, об'єм якого збільшується з часом. Воно не може бути єдиним монокристалом, оскільки в його межах продовжує накопичуватись нова речовина. Тому ядро Землі повинно мати полікристалічну форму, сформовану з атомів різної природи від атомів водню до атомів урану та плутонію. Атоми легких хімічних елементів, зокрема, водень і гелій, можуть дифундувати по об'єму твердого ядра і виходити назовні в магму [18]. Важливо, що у внутрішньому ядрі створюються ізотопи ${}^3\text{He}$ [18], які можуть народжуватись лише внаслідок протікання реакції приєднання бінейтрона до протона. Оскільки атомний склад ядра відрізняється від складу магми, то співвідношення концентрацій ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ утворених атомів в

ядрі значно перевищує таке співвідношення в магмі [18]. Створені масивні радіоактивні ядра не мають змоги переміщатись по об'єму твердої фази і утворювати власну фазу при надзвичайно великих тисках. Проте, залишаючись (α , β , γ , n)- радіоактивними, вони вносять тепло, яке надходить в зовнішнє ядро і далі в магму. З віддаленням від центра Землі тиск і температура знижується, а зовнішнє ядро отримує стан в'язкої рідини, густина якої збільшується з наближенням до центра.

З розглянутих процесів легко зрозуміти, що властивість ядра Землі відбивати акустичні хвилі лише наближено можна моделювати сукупністю трьох речовин, згаданих вище.

В місцях, де розривається земна кора, проявляється вулканічна діяльність, внаслідок чого великі ділянки поверхні Землі заповнюються речовиною, яку з часом добувають як корисні копалини. Тріщини в земній корі теж заповнюються речовиною, яка надійшла з глибин Землі. Так з'являються родовища важких хімічних елементів. Оскільки наявність процесів кристалізації робить магму неомогенним середовищем, то хімічний склад гарячої лави, яка виходить на поверхню Землі при виверженнях вулканів, буде різним в різних місцях. Тому в різних родовищах добувають різні корисні копалини.

Процеси народження нових ядер продовжуються в надрах Землі, продовжується і радіоактивний розпад цих ядер. Наявність радіоактивного розпаду хімічних елементів в надрах Землі легко довести, аналізуючи природу газів, розчинених у воді на глибинах в кілька сотень метрів. Тут ми помітимо наявність інертних газів, від гелію до радіоактивного радону.

Отже, на великих глибинах в Землі постійно народжуються водень і інші легкі ядра. Цей висновок підтверджують дослідження, описані в [19], згідно з якими в об'ємі ядра Землі присутні легкі ядра, зокрема водень, кремній, сірка, внаслідок чого густина речовини менша на 4-5%, а швидкість поширення звуку на 4-10%, ніж у випадку, коли б ядро складалось лише з заліза.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Peebles P.J.E. The Standard Cosmological Model // in Rencontres de Physique de la Vallee d'Aosta. - Ed. M. Greco. – 1998, p. 7.
2. S.M.Andrievsky, I.A.Klimishin. General astronomy course/Odesa: Astroprint, 2010. 478.
3. Р.К. Ровинский. Развивающаяся Вселенная. - Москва: Наука.- 1995 - 354 p.
4. Petro O. Kondratenko. The birth and evolution of the Universe with minimal initial entropy // International Journal of Physics and Astronomy. December 2015, Vol. 3, No. 2, pp. 1-21. <http://dx.doi.org/10.15640/ijpa.v3n2a1>.
5. Petro O. Kondratenko. Model of the Universe's Creation with Minimal Initial Entropy. Fundamental Interactions in the Universe / LAP LAMBERT Academic Publishing. - 2017. – 130 p. <https://kondratenko.biz.ua>.
6. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. - М: ИЯИ РАН. 2006. - 464 с. - ISBN: 978-5-382-00657-4.
7. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков, Введение в физику ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория - Москва: Красанд, 2010. — 564 с. *ISBN*: 978-5-396-00046-9.
8. Внутреннее ядро Земли // Материал из Википедии — свободной энциклопедии
9. Lars Stixrude. Composition and temperature of Earth's inner core //Journal of Geophysical Research: Solid Earth. — 1997. — 10 November (Vol. 102, No. B11). — P. 24729—24739. — ISSN 2156-2202. — doi:10.1029/97JB02125.
10. Состав земного ядра / О. Г. Сорохтин: «Развитие Земли» / <http://www.gemp.ru/tom/3.html>
11. U I Uggerhøj, R E Mikkelsen and J Faye. The young centre of the Earth // European Journal of Physics, 2016, Volume 37, Number 3. 035602. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/37/3/035602>
12. Сонце. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії.

13. Petro O. Kondratenko. Scalar Field in Model of the Universe with Minimal Initial Entropy // International Journal of Advanced Research in Physical Science. Volume-4 Issue-4. – 2017. pp. 23-31. <https://www.arcjournals.org/international-journal-of-advanced-research-in-physical-science/volume-4-issue-4/>; <https://kondratenko.biz.ua>.
14. Petro O. Kondratenko. Mechanisms of Origin of Matter in the Model of the Universe with Minimum Initial Entropy // International Journal of Advanced Research in Physical Science. Volume-4 Issue-8. – 2017. pp. 26-35 <https://www.arcjournals.org/international-journal-of-advanced-research-in-physical-science/volume-4-issue-8/>; <https://kondratenko.biz.ua>.
15. Petro O. Kondratenko. The initial period in the Universe creation. // Scientific Light. – 2019. - Vol.1, No 28. P. 13-19. <http://www.slg-journal.com/ru/archive/>; <https://kondratenko.biz.ua>
16. I.L. Gerlovin. Basics of a unified theory of all interactions in matter. – Leningrad: Energoatomizdat. – 1990. – 433 p. (<http://www.twirpx.com/file/365484/>). (in Russian).
17. P. Kondratenko. About energy streams in the Universe.// Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu, ser. phys., math., mech. - 2007. - No 1. - P. 139-144 (in Ukrainian). - <https://kondratenko.biz.ua>
18. F. Horton, P.D. Asimow, K.A. Farley et al. Highest terrestrial $^3\text{He}/^4\text{He}$ credibly from the core // Nature 2023 November, Vol. 623 (7985), p. 90-94. DOI: 10.1038/s41586-023-06590-8.
19. Tatsuya Sakamaki , Eiji Ohtani, Hiroshi Fukui et al. Constraints on Earth's inner core composition inferred from measurements of the sound velocity of hcp-iron in extreme conditions // Science Advances 26 Feb 2016. Vol 2, Issue 2. DOI: 10.1126/sciadv.1500802.