

ПАСИВНА АНТИНЕЙТРИННА ЛОКАЦІЯ НАДР ЗЕМЛІ

В.М. Ващенко¹, В.М. Павлович², В.Д. Русов³

¹ *Український Антарктичний центр, бульв. Т. Шевченка, 16, Київ.*

² *Інститут ядерних досліджень НАНУ, пр. Науки, 47, Київ.*

³ *Одеський національний політехнічний університет, пр. Т. Шевченка, 1, Одеса*

Сучасні уявлення про структуру, елементний склад, фізичний стан глибинних шарів земної кори, мантії та ядра Землі явно недостатні для вирішення багатьох проблем. Наприклад, інформація про елементний склад мантії та ядра Землі може допомогти під час уточнення моделей утворення планет земного типу та їх еволюції. В той же час, знання про кількість та просторовий розподіл радіоактивних елементів в глибинах Землі дадуть змогу уточнити тепловий баланс Землі, що може суттєво вплинути на розвиток моделей клімату та методів прогнозування його змін, а також взагалі на наші уявлення про природу енергомасових процесів в глибинних надрах Землі. Важливою є також суто практична задача отримання більш детальних контурів родовищ радіоактивних елементів. Всі ці задачі пов'язані з визначенням розподілу і кількості радіоактивних елементів в глибинах землі, і їх можна розв'язати за допомогою антинейтринного зондування планети.

Електронне антинейтрино є продуктом розпаду будь яких β -активних елементів. В природі зустрічаються тільки декілька β -активних елементів з великим часом життя, що перевищує час життя Землі. Це, наприклад, такі елементи: ^{40}K , ^{50}V , ^{138}La , ^{187}Re . Але практично кожний ланцюжок α -розпаду важких елементів містить β -активні елементи. Крім того, спонтанний поділ важких елементів також приводить до утворення β -активних скалок поділу, так що джерелом більшості антинейтрино, які випромінюються земними надрами є продукти розпаду важких елементів.

Фізична унікальність антинейтрино в тому, що воно практично не взаємодіє з речовиною крізь яку проходить. Тому антинейтрино несе інформацію про ядро того елементу, з якого воно випроменилось. Ця інформація міститься в енергетичних спектрах антинейтрино і в статистичному розподілі кількості частинок, які зареєстровані детектором за визначений проміжок часу (Клапдор-Клайнгротхаус, Штаудт, 1997).

З іншого боку, дуже низький переріз взаємодії антинейтрино з ядрами речовини викликає значні труднощі в його реєстрації. Але за останні 20-30 років було розвинені відповідні методики реєстрації, створено детектори і розвинуто основи опрацювання експериментальних даних (Клапдор-Клайнгротхаус, Штаудт, 1997).

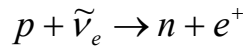
Крім визначення типу і кількості ядер, які випромінюють антинейтрино, дуже важливим є визначення просторового розподілу цих ядер. Це можна зробити за допомогою методів пасивної локації, які в останні роки досягли високої досконалості завдяки практичним потребам медицини, військової справи та розвитку комп'ютерної техніки. Практично томографія людини дає можливість визначити просторовий розподіл радіоактивних елементів в заданому органі і в цілому організмі. Задача антинейтринного зондування земних глибин аналогічна з деякими відмінами задачам медичної томографії і задачі пасивної електромагнітної або звукової локації рухомих об'єктів.

Постановка задачі. В роботі пропонується метод антинейтринного зондування земних глибин за допомогою реєстрації антинейтрино декількома детекторами, розташованими в різних точках поверхні Землі.

На основі даних сітки детекторів можна буде отримати спектри антинейтрино, кореляційні функції і статистику відліків антинейтрино детекторами, які фактично і дадуть інформацію про просторовий і кількісний розподіл β -активних елементів в надрах. Кореляційні функції для випадкового точкового джерела антинейтрино отримано в (Русов и др., 1998). Але

для того, щоб отримати просторовий розподіл радіоактивних елементів в досліджуваних об'ємах, необхідно обрахувати кореляційні функції розподіленого у просторі випадкового джерела частинок. Для цього потрібно провести ряд модельних розрахунків із різними моделями розподілу радіоактивних елементів в земних глибинах: рівномірний розподіл, розподіл у вигляді сферичного шару, випадково-фрагментований розподіл і так далі. Порівнюючи отримані для цих розподілів кореляційні функції з експериментальними, можна зробити висновки про уточнену картину розподілу і концентрацію радіоактивних речовин у корі, мантиї, ядрі.

Техніка експерименту. Електронне антинейтрино реєструється за допомогою реакції так званого оберненого бета-розпаду:



Тобто антинейтрино, взаємодіючи із протоном, утворює позитрон і нейтрон. Переріз даної реакції дуже малий $\sim 10^{-43}$ - 10^{-44} см², але за наявності досить потужного джерела антинейтрино і досить великого об'єму детектора можна набрати достатньо велику статистику реєстрації антинейтрино. Так наприклад, якщо розташувати детектор антинейтрино об'ємом 1-2 м³ поблизу ядерного реактора, то можна зафіксувати близько 100-200 подій на добу. Фактично, на тих же детекторах реєструється фон на рівні одного або декілька відсотків від кількості подій на діючому реакторі, який зумовлений, скоріше за все, антинейтринним випромінюванням порід і речовини Землі. Детектор являє собою речовину з великою концентрацією протонів, або дейтронів, тому що можна використовувати реакції антинейтрино с дейтроном, або ще декілька відомих реакцій. Це може бути дистильована вода, або важка вода, або органічний сцинтилятор, або лід і таке інше. Якщо детектором є сцинтилятор, то спалахи в об'ємі детектора повинні реєструватись системою фотопомножувачів, за допомогою яких можна виміряти енергетичний спектр позитронів, який в свою чергу можна конвертувати в енергетичний спектр антинейтрино. Крім того детектор повинен бути обладнаний детектором нейтронів (He₃, або BF₃), за допомогою яких за схемою збігань з часовою затримкою можна виділити корисний сигнал з фонових сигналів обумовлених космічними мю-мезонами. Таким чином детектор антинейтрино являє собою досить складну конструкцію.

Електронні схеми, крім часових затримок, повинні вміти обраховувати статистику сигналів від антинейтрино, що в свою чергу дає змогу отримати додаткову інформацію про материнські ядра β-випромінювання.

Технологія пасивного зондування потребує великої міждетекторної бази. Розміри цієї бази повинні бути максимально можливими для забезпечення максимальної точності вимірювань. Тому для зондування глибин планети варто розміщувати детектори на протилежних сторонах земної кулі, наприклад, один детектор розміщується в Антарктиді другий – в Європі, третій в Азії і т.п. Всі детектори повинні бути пов'язані спільною електронною схемою, яка забезпечить кореляційні вимірювання.

Розміщення одного або декількох детекторів в Антарктиді або Гренландії може бути корисним с декількох точок зору. По-перше, їх можна розміщувати під достатньо товстим шаром льоду, який забезпечить екранування детектора від космічного випромінювання. По-друге, сам лід може слугувати матеріалом детектора, і розміри детектора в цьому випадку будуть обмежуватися тільки наявною кількістю фотопомножувачів і детекторів нейтронів, тобто розміри детектора будуть визначатися доступною вартістю і експериментальною доцільністю.

Таким чином, постановка нетринно-кореляційних експериментів з метою пасивного зондування Землі, з одного боку, відкриває виключні можливості прямої ідентифікації просторового розподілу елементного складу мантиї та ядра Землі, а з другого боку, може допомогти розв'язати деякі важливі питання під час уточнення моделей утворення планет земного типу та їх еволюції. Наприклад, виявити зв'язок між полем швидкостей магми і складним обертовим і трансляційним рухом континентальних плит і ефектами утворення кори.

В тому випадку, якщо подібні гіпотези отримують в нейтринних експериментах реальне обґрунтування, то побудова теоретичної моделі руху магми дозволить відслідкувати рух континентів і досягнути більш глибокого і повного розуміння геологічної еволюції (Ебелінг, 2001).

Тут же потрібно відмітити, що експерименти такого типу варто поставити на міжнародну основу. Перш за все, з точки зору розміщення детекторів на планеті, а також з точки зору великої вартості експерименту і важливості результатів для людства.

Література

Клапдор-Клайнгротхаус Г.В., Штаудт А. Неускорительная физика элементарных частиц: Пер. с нем. В.А.Беднякова. - М.: Наука. Физматлит, 1997. - 528 с.

Русов В.Д., Высоцкий В.И., Зеленцова Т.Н. Нейтринная диагностика внутриреакторных процессов и топливосодержащих масс.// Ядерная и радиационная безопасность. - 1998. - Т. 16 Вып. 1. - С. 66-95.

Эбелінг В., Энгель А., Райнер Ф. Физика процессов эволюции. Под ред Ю.Данилова. - М.: Эдиториал УРСС, 2001. - 328 с.