

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Скорик Анастасії Олександрівни

на тему: ТОНКА СТРУКТУРА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ ПУЛЬСАРІВ У

ДЕКАМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ,

представлену на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія

Згідно з сучасними уявленнями, пульсар є нейтронною зіркою з надпотужним магнітним полем поблизу своєї поверхні, що швидко обертається навколо осі, яка не співпадає з його магнітною віссю. Такі об'єкти є унікальними космічними лабораторіями, в яких природним шляхом досягаються фізичні умови, які не можуть бути реалізовані в лабораторіях земних. Зокрема це стосується надвеликих значень магнітної індукції біля поверхні пульсара, а також напруженості електричного поля, що створюється внаслідок швидкого обертання замагніченої зірки. Наявність таких полів зумовлює можливість перебігу великої кількості електродинамічних процесів у магнітосфері пульсарів, таких як різноманітні механізми випромінювання і розповсюдження електромагнітних хвиль, народження і прискорення заряджених частинок та ін. У зв'язку з цим всебічне дослідження пульсарів не тільки сприяє поглибленню нашого знання про навколишній всесвіт, а й стимулює розвиток теоретичних методів досліджень у класичній та квантовій електродинаміці, а також методів аналізу даних спостережень у радіоастрономії. На протязі п'ятидесяти років, поки тривають дослідження пульсарів, досягнуті помітні успіхи як у теоретичному описі процесів у магнітосфері таких зірок, так і в аналізі даних спостережень їх випромінювання. Однак, досі залишається нерозв'язаною проблема побудови самоузгодженої картини магнітосфери пульсарів. Також відкритими є питання про механізми утворення нестійкостей в електрон-позитронній плазмі навколо пульсарів та когерентного випромінювання цим середовищем. При цьому одним з головних є питання про просторову локалізацію ділянок плазми, що створює випромінювання, яке реєструється телескопами. Тому те, що одним із головних

завдань дисертиції Скорик А.О. є розвиток методів зондування магнітосфери пульсарів шляхом дослідження структури аномально інтенсивних імпульсів цих зірок, зумовлює актуальність цієї роботи.

Дана дисертаційна робота присвячена вивченню структури імпульсів декількох пульсарів на основі спостережень, проведених на телескопі УТР-2. Новизна таких досліджень полягає, перш за все, в тому, що вони були проведені при досить низьких частотах у відносно широкому частотному інтервалі. У такому діапазоні частот великої ваги набуває вплив середовища поширення на імпульси випромінювання, що реєструються. З одного боку, це призводить до сильного розмиття імпульсів та необхідності якісної компенсації впливу середовища поширення. З іншого боку, завдяки цьому, при таких частотах можна найбільш детально вивчати властивості середовища поширення сигналу. У дисертації Скорик А.О. виконано оптимізацію двох основних методів компенсації розмиття імпульсів, що дає змогу помітно пришвидшити аналіз даних спостережень у декаметровому діапазоні. На основі цього проведено вимірювання ряду характеристик середовища поширення для декількох пульсарів, а також вперше виявлено та досліджено тонку структуру аномально інтенсивних імпульсів для деяких з них. Здобуті результати представляють інтерес для подальшого розвитку досліджень випромінювання космічних об'єктів у декаметровому діапазоні, а також є цінним матеріалом для поглиблення розуміння структури магнітосфери пульсарів та механізмів їх когерентного випромінювання.

Дисертація Скорик А.О. складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

У **вступі** викладено мету та методи дослідження, визначено задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, обґрунтовано актуальність роботи.

У **першому розділі** проведено огляд та аналіз літератури за темою роботи. Наведено основні відомості стосовно сучасної моделі магнітосфери пульсарів та фізичних процесів, що в ній відбуваються. Проведено систематизацію тонкої структури випромінювання пульсарів за характерним часом когерентності

імпульсів. Виділено субімпульсну, мікроімпульсну, міліімпульсну та наноімпульсну структури та наведено основні властивості кожної з них. Зроблено огляд основних моделей виникнення таких структур. Представлено дані про відомі властивості середовищ у міжзоряному, міжпланетному просторі та іоносфері Землі, через які подорожує сигнал від пульсарів, що приймається телескопом, та характер їх впливу на цей сигнал.

У **другому розділі** проаналізована можливість спостереження окремих імпульсів пульсарів у декаметровому діапазоні на телескопі УТР-2. Показано, що така можливість існує лише для аномально інтенсивних імпульсів, для яких можна досягати за порядком величини десятиразового перевищення сигналу над шумом, а також проводити вимірювання з часовою роздільною здатністю, що є достатньою для вивчення особливостей тонкої структури цих імпульсів. Наступна частина цього розділу присвячена опису постдетекторного та когерентного методів усунення дисперсійної затримки сигналів у середовищі поширення та їх оптимізації для проведення вимірювань у декаметровому діапазоні. Зокрема показано, що можна досягти дворазового виграшу в часі обробки сигналу шляхом складання так званих «поганих» відліків сусідніх кадрів обробки між собою. Оцінено максимальну точність когерентного методу компенсації дисперсійної затримки, що визначається розсіянням сигналу на неоднорідностях електронної концентрації у середовищі його поширення.

У **третьому розділі** викладено результати спостережень аномально інтенсивних імпульсів пульсарів J0243+6257, J0814+7429 та J0953+0755 з високою часовою роздільною здатністю. Основним завданням при цьому було виявлення та дослідження характеристик тонкої структури цих імпульсів.

Для пульсара J0243+6257 вперше було проведено спостереження аномально інтенсивних імпульсів у декаметровому діапазоні. Було виміряно точне значення міри дисперсії та різними методами оцінена стала часу розсіювання. На основі кореляційного аналізу імпульсів було виявлено два масштаби часу розсіювання для різних імпульсів пульсару. Зазначено, що через великі значення сталої розсіювання тонку структуру імпульсів даного пульсару спостерігати не вдалось.

При спостереженні випромінювання пульсара J0814+7429, як і в попередньому випадку, виявлено два масштаби часу розсіювання. Крім того, в даному випадку встановлено існування двох часових масштабів випромінювання з різним характерним часом кореляції. За допомогою процедури деконволюції було показано наявність тонкої структури випромінювання з характерним часовим масштабом близько 2-3 мс.

Для пульсара J0953+0755 вперше у декаметровому діапазоні виявлено тонку структуру з характерним часовим масштабом кореляції близько 1 мс. Спостерігався ефект розділення аномально інтенсивного імпульсу на компоненти з різними значеннями міри дисперсії. Висунуто припущення, що це може бути зумовлено випромінюванням цих компонент на різних відстанях від поверхні пульсара. Оцінено масштаб різниці цих відстаней. Даний ефект запропоновано використовувати для зондування магнітосфери зірки вглибину.

Отже, дисертація Скорик А.О. містить багато нових результатів спостережень та аналізу тонкої структури випромінювання ряду пульсарів, які отримано за допомогою методів, що були суттєво оптимізовані здобувачем для цілей свого дослідження. Робота написана зрозумілою мовою, а її результати є добре апробовані на багатьох міжнародних конференціях та опубліковані у фахових журналах.

Зауваження по роботі.

1) У підрозділі 3.3.5 розмір області випромінювання оцінено як $\Delta s \sim c\Delta\tau$, де $\Delta\tau$ – тривалість (час кореляції) тонкої структури. Проте, відомо, що релятивістські ефекти призводять до того, що тривалість імпульсу випромінювання $\Delta\tau$ може бути значно меншою за тривалість Δt самого процесу випромінювання частинкою. Відношення цих величин може досягати значення $\Delta t / \Delta\tau \sim \gamma^2$, де γ – Лоренц-фактор частинки. Великі значення γ для частинок у магнітосфері пульсарів можуть призвести до помітного збільшення розміру області випромінювання $\Delta s \sim c\Delta t$ порівняно з наведеною оцінкою.

2) В роботі використовується певне значення міри дисперсії для кожного імпульса. У свою чергу, розмір області випромінювання у магнітосфері, де

формується цей імпульс, може бути дуже великим і випромінювання з «початку» цієї області може набувати додаткової дисперсійної затримки відносно випромінювання з «кінця» області (тобто міра дисперсії може дещо змінюватися в межах окремого імпульсу). Було би корисно зробити оцінку додаткового впливу такої затримки на імпульси, що спостерігаються.

3) У підрозділі 3.2.1 використовується єдиний термін («коротка» або «довга» шкала) для визначення характерних часових інтервалів різної природи: часу розсіяння та часу когерентності імпульсу. Це погіршує сприйняття матеріалу в даному підрозділі.

4) У підрозділі 1.4 при виведенні формул (1.12) та (1.14) для часів затримки сигналу внаслідок дисперсії та розсіювання, а також формули для міри обертання має місце ряд похибок. Зазначимо, проте, що це не має впливу на основні результати роботи, адже у випадку перших двох формул такі похибки присутні лише у проміжних виразах, а формула для міри обертання в роботі далі не використовується.

Втім, наведені зауваження не стосуються основних результатів роботи, а деякі з них мають характер побажань. Вважаю, що робота відповідає всім вимогам діючого законодавства до кандидатських дисертацій, а її автор Скорик А.О. заслуговує присудження їй ступеню кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія.

Офіційний опонент

кандидат фіз.-мат. наук,
старший дослідник

С.В. Трофименко

Підпис офіційного опонента Трофименко С.В. засвідчую.

Начальник Відділу кадрів



Л. Андрющенко
20.09.2018 р.