

Радіоастрономія пульсарів

Мета

Ознайомитися з основними принципами роботи радіотелескопа, вияснити, чим вони подібні, та чим відрізняються від принципів роботи з оптичним телескопом. Зрозуміти, як вивчають головні характеристики пульсарів. Вияснити, що таке дисперсія міжзоряного середовища і як вона використовується для вимірювання відстаней до пульсарів.

Завдання

Ознайомитися з модельним радіотелескопом, обладнаним багатоканальним приймачем.

Налагоджувати приймач та керувати ним для отримання найкращого сигналу.

Аналізувати дані з метою отримання властивостей пульсара, таких як його період, інтенсивності сигналів на різних частотах, моменти приходу імпульсів, залежність інтенсивності сигналу від його частоти.

Обчислити відстань, яку пройшли імпульси від пульсара аналізуючи різниці у моментах приходу радіоімпульсів на різних частотах. Порівняти періоди різних пульсарів та зрозуміти у якому інтервалі періодів спостерігаються пульсари.

Деякі терміни, знання яких обов'язкове

Всесвітній час (UT)	Дисперсія	Електромагнітне випромінювання
Електромагнітний спектр		Крабовидна туманність
Міжзоряне середовище	Нейтронна зірка	Парсек
Радіотелескоп	Радіохвилі	Роздільна здатність
Пряме піднесення	Частота пульсара	Швидкість світла
		Юліанська дата

Нейтронні зірки та пульсари

Більшість із наймасивніших зірок, як вважають астрономи, закінчують своє життя як нейтронні зірки. Речовина у цих незвичайних об'єктах настільки стиснута, що вони складаються виключно з нейтронів, і місця між ними настільки мало, що зірка, з масою Сонця займає кулю, не більшу 10 км у діаметрі. Такі об'єкти, як можна зрозуміти, надзвичайно важко, якщо взагалі можливо, виявити та спостерігати. Площі їхніх поверхонь у мільярди разів менші, ніж площа поверхні Сонця і тому вони випромінюють настільки мало енергії (незважаючи на те, що вони надзвичайно гарячі), що побачити їх у оптичному діапазоні майже неможливо.

Астрономи були дуже здивовані відкривши короткі регулярні імпульси радіовипромінювання, що приходили від нейтронних зірок, - фактично, на те, щоб зрозу-

міти звідки ці сигнали приходять, пішло досить багато часу. Відкриті об’єкти назвали пульсарами. Ця назва походить від скорочення фрази “пульсуючі радіоджерела”.

Відкриття пульсарів сталося випадково. У 1967 р. Джоселін Белл, яка працювала над своєю дисертацією під керівництвом Ентоні Хьюїша у Кембріджі, Англія, проводила огляд неба з новим радіотелескопом, який був спеціально побудований для вивчення мерехтіння радіосигналів від точкових радіоджерел за рахунок розсіювання на плазмі міжзоряного середовища.

Белл була надзвичайно вражена, коли однієї серпневої ночі 1967 виявила сигнал, що змінювався *регулярно та систематично*, а не випадково. Він виглядав як нескіченна послідовність коротких викидів радіохвиль, що приходили надзвичайно регулярно з періодом 1.33720113 сек. Сплески були настільки регулярними і настільки несхожими на природні сигнали, що деякий час Белл та Хьюїш пробували знайти для нього штучне джерело походження: наприклад, радар, літак, або якусь домашню електроніку, які створюють регулярні завади. Але швидко стало ясно, що регулярні імпульси рухаються по небу як звичайні зірки, тому вони мусять мати небесне походження. Деякий час була в ходу гіпотеза, про те, що сигнали спеціально посилаються на Землю “зеленими чоловічками”. Але коли у зовсім різних ділянках неба було відкрито ще три таких пульсуючих джерела з іншими періодами (усі близько однієї секунди), стало очевидним, що це якесь природне явище. Коли у лютому 1968 Белл, Хьюїш та співробітники опублікували своє відкриття, вони підтвердили, що сигнали приходять від дуже малих об’єктів, таких як нейтронна зірка, так як тільки досить малий об’єкт може змінювати свою структуру чи орієнтацію за час, порядку секунди.

Десь через півроку після цього відкриття теоретики запропонували пояснення дивних імпульсів: вони справді приходять від сильно намагнічених нейтронних зірок, які до того, ще й дуже швидко обертаються. Ця ідея належить Томі Голду, і хоча за багато років ідея обросла подробицями та деталями, її головна суть принципово не змінилася.

Можна чекати, що нейтронні зірки повинні швидко обертатися тому, що вони утворюються з нормальних зірок, які, як правило, обертаються. Коли діаметр зірки зменшується, вона починає обертатися швидше (згідно з законом збереження моменту імпульсу). Але нейтронні зірки десь у 100000 разів менші, ніж нормальні зірки і тому швидкість їхнього обертання повинна бути в 100000 разів більшою. Наше Сонце робить один оберт приблизно за 30 діб, тому нейтронна зірка, яка утворилася б з нашого Сонця, повинна б робити один оберт приблизно за секунду. Нейтронна зірка також має дуже сильне магнітне поле, в кілька десятків мільйонів разів сильніше, ніж поле звичайної

зірки, оскільки зменшення площі поверхні приводить до зростання напруженості поля. Вісь магнітного поля пульсара нахилена до осі його обертання.

Згідно до такої моделі, нейтронна зірка з сильним магнітним полем, що швидко обертається, захоплює електрони та прискорює їх до релятивістських швидкостей. Такі електрони випромінюють радіохвилі, котрі, подібно до світла маяка поширюються у двох напрямках, паралельно осі магнітного поля нейтронної зірки. Оскільки сама зірка обертається, пучок енергії “замітає” небесну сферу і кожен раз, коли радіохвилі перетинають напрям на Сонце, (як правило, один раз на оберт), ми реєструємо радіоімпульс, подібно тому, як матрос бачить проблiski маяка.

Зараз відомо понад тисячу пульсарів і ми знаємо про них значно більше, ніж знали у 1967 році. Очевидно, що вони концентруються до площини Молочного Шляху і лежать на відстанях кілька тисяч парсеків від нас. Так і повинно бути, якщо вони справді є кінцевими стадіями еволюції масивних зірок, оскільки масивні зірки формуються в основному в спіральних рукавах, які лежать у площині Галактики. За винятком кількох дуже швидких – мілісекундних – пульсарів, періоди більшості з них лежать у інтервалі 1/30 сек – кілька секунд. Періоди більшості пульсарів потроху зростають, це наслідок того, що вони випромінюють радіохвилі і таким чином втрачають енергію. В зв’язку з цим слід чекати, що пульсари з віком сповільнюються, поступово зменшують інтенсивність випромінювання і перестають бути видимими для нас приблизно за мільйон років з моменту їх утворення. Таким чином, найшвидші пульсари, очевидно, наймолодші (за винятком знову ж таки мілісекундних, які є окремим типом пульсарів, життя яких, за сучасними теоріями, підтримується наявністю близького компаньйона).

Для спостерігача пульсар – це сигнал у антені радіотелескопа. Цей сигнал, як правило, характеризується широкою смугою частот. Наприклад, у нашій роботі смуга частот 400 МГц – 1400 МГц. Сигнал також характеризується короткими імпульсами, між якими є широкі пусті проміжки, рис.20 (див.дискету, файл Figs\Pic20.gif). Оскільки період пульсара залежить тільки від періоду обертання зірки, незалежно від частоти прийому інтервал часу між послідовними імпульсами однаковий. Однак на вищих частотах сигнал слабший. Імпульси вищих частот також приходять трохи раніше, в зв’язку з тим, що такі радіохвилі рухаються крізь плазму міжзоряного середовища швидше. Залежність показника заломлення, а значить – швидкості руху, називається дисперсією. Ми використаємо його для оцінок відстаней до пульсарів.

У цій роботі ви повинні навчитися керувати модельним радіотелескопом і вивчати періоди пульсарів та запізнення приходу імпульсів на різних частотах, з метою визначення відстаней до деяких пульсарів.

План роботи

Знайомство з радіотелескопом.

Провести спостереження пульсара з одноканальним приймачем для того, щоб навчитися працювати з ним та ознайомитися з особливостями вигляду сигналів в залежності від установок приймача.

Визначити періоди кількох пульсарів.

Виміряти відстані до пульсарів шляхом аналізу затримок у моментах приходу імпульсів на різних частотах, викликаних міжзоряною дисперсією.

Визначити відстані до невідомого пульсара.

Знайомство з радіотелескопом

Виберіть пункт меню **File** головного екрана, у ньому підпункт **Run** і далі **Radio Telescope**. Вікно, що при цьому з'являється, показує панель управління радіотелескопом CLEA. Вікно зображення знаходиться по центру і на ньому зображення телескопа. Це великий параболоїд, що працює як антена для збору радіосигналів від радіоджерел і передачі їх на вхід приймача. Зліва знаходяться два цифрових поля, на яких відображаються значення Всесвітнього часу (UT) і місцевого зоряного часу, рис.21, (див.дискету, файл Figs\Pic21.gif). Координати максимума діаграми спрямованості - пряме піднесення та схилення - показані на таких же цифрових полях знизу. Нижче і правіше від цих полів знаходиться кнопка **View**. Натисніть на цю кнопку і ви отримаєте зображення небесної сфери з нанесеними координатами. Жовтий квадрат на небесній сфері показує проекцію діаграми спрямованості антени радіотелескопа. Звичайно, ситуація дещо стилізована, адже переріз діаграми має круглу або еліптичну форму, і аж ніяк не квадратну.

Ви можете навести телескоп на довільну ділянку неба, натискаючи та утримуючи кнопки **N**, **E**, **S**, **W** у лівій частині вікна. Попробуйте натискати ці кнопки та подивіться як телескоп рухається по небу. Як бачимо, відліки координат змінюються теж. Швидкість зміни положення телескопа задається величиною **Slew rate**.

Телескоп можна переміщувати по небу двома способами. По-перше, натискаючи на кнопку **Set coordinates**, а по-друге, вибираючи об'єкт з меню **Hot-List**. Ми користуємось можливістю **Hot-List** виключно через те, що так зручніше.

Телескоп має годинниковий механізм, який призначений для компенсації обертання Землі. Зараз він виключений і тому величина прямого піднесення на дисплеї потрохи змінюється. Зараз можна користуватися кнопками **N**, **E**, **S**, **W**, але телескоп не

слідкує за обертанням Землі. Щоб увімкнути годинниковий механізм, натисніть кнопку **Tracking**. Пряме піднесення фіксується і тепер телескоп відслідковує обертання Землі.

Спостереження пульсара одноканальним приймачем

Познайомимось з приймачем і головними властивостями пульсарів. В цій частині роботи ви повинні навести телескоп на не дуже сильний пульсар і відобразити на графіку сигнал, який приймається. Це дозволить побачити деякі його загальні характеристики. Радіохвилі, що приходять від пульсарів характеризуються різкими сплесками короткої тривалості з дуже стабільним для різних пульсарів періодом повторення, який становить від сотих долей секунди до кількох секунд. Сила окремих імпульсів випадково міняється, але в основному інтенсивність сигналів залежить від частоти, на якій ми їх спостерігаємо. Ваш приймач працює на 400 МГц - 1400 МГц і ви зможете переконатись, що інтенсивність залежить від частоти.

Встановіть радіотелескоп на пульсар 0628-28. Для цього виберіть з меню елемент **Hot List**, а у ньому **View/Select from List**. Тепер потрібно вибрати бажаний пульсар, а саме 0628-08 (назва об'єкта розташована у лівому стовпчику), і натиснути **Ok**. Ви отримаєте запит на підтвердження і після цього телескоп переміститься. Жовтий квадрат теж рухається по небу, а у вікнах координат змінюються координати.

Запишіть координати пульсара, на який наведено телескоп.

Телескоп навели, тепер можна увімкнути приймач. Для цього треба натиснути кнопку **Receiver** вгорі справа у вікні керування телескопом. Відкривається прямокутне вікно, що містить у своїй правій частині елементи керування приймачем, а у лівій - графік для відображення залежності потужності сигналу від часу, рис.22, (див.дискету, файл Figs\Pic22.gif). Частота приймача - 600 МГц. Для показу частоти є спеціальне віконечко зверху справа. Зміна частоти здійснюється характерним для Windows-продуктів об'єктом (стрілка вверх/вниз), що розташований зліва від віконечка частоти. Точна підстройка частоти здійснюється через аналогічне віконечко **Freq.Incr.** (крок по частоті). Тут теж розташовані кнопки для зміни вертикального та горизонтального масштабу графіка.

До чого подібен сигнал пульсара? Натисніть кнопку **Mode** щоб почати прийом. На графіку відображається інтенсивність сигналу в залежності від часу. Сигнал є шумоподібним з окремими сплесками, які і є сигналами пульсара. Якщо комп'ютер має звукову карту, ви можете почути сигнал, перетворивши його у звук. Зверніть увагу на регулярність, з якою сигнали повторюються. Натисніть кнопку **Mode** ще раз щоб вимкнути приймач. Приймач закінчує запис графіка рис.23, (див.дискету, файл Figs\Pic23.gif).

Познайомимося з призначенням інших елементів вікна. Запустіть приймач знову. Кнопка **Vertical Gain** за призначенням відповідає гучності звичайного приймача. При великому значенні підсилення - **Gain** графік високий (найбільше значення - 8.00), але підсилюються не тільки сигнали, але і шуми. Коли **Gain** малий (найменше значення - 0.25) ви можете бачити тільки пульсар. Експериментально знайдіть найкраще значення величини підсилення, тобто таке, при якому сигнал пульсара високий, але не "зашкалює", тобто не перевищує верхньої межі дисплея. Запишіть знайдене значення підсилення. Зрозуміло, що воно змінюється від пульсара, до пульсара, а також залежить від величини **Horz Sec**.

Тепер поміняємо **Horz Sec** (горизонтальний масштаб). Це можна зробити тільки при вимкненому приймачі. **Horz Sec** показує загальну довжину абсциси в секундах. Встановіть значення **Horz Sec** рівним 2 (спочатку було 4). Бачимо, що графік на екрані змінюється швидше, але сигнал здається слабшим. Це тому, що тепер приймач має менше часу на накопичення сигналу перед його показом на дисплеї. Якщо встановити **Horz Sec** = 0.5, то імпульси стають настільки широкими, що їх навіть важко розрізнити. Навпаки, при великому **Horz Sec**, наприклад 16, сигнал здається дуже сильним.

Поясніть цю залежність параметрів приймача і вигляду графіків.

Виміряємо період пульсара. Покладемо **Vertical Gain = 4**, **Horz Sec = 4**, **частота = 600 МГц**. Ввімкніть приймач, запишіть кілька імпульсів і через якийсь час зупиніть реєстрацію сигналів. Коли запис графіка закінчиться, виміряйте період імпульсів на екрані. Комп'ютер має систему для знімання даних з графіка. Клацнемо лівою кнопкою миші на графіку. З'являється вертикальна голуба лінія, яку можна пересувати по графіку, утримуючи натисненою ліву кнопку миші. Встановіть цю лінію посередині одного з піків біля лівого краю графіка. Момент приходу імпульсів – на екрані. Аналогічні дії правою кнопкою миші на наступному імпульсі приводять до появи другої лінії – білої - і другого набору чисел. Різниця цих значень і є період пульсара.

Зафіксуйте знайдені значення, період пульсара і частоту приймача.

Для отримання точнішого значення періоду треба поміряти інтервал часу не між сусідніми, а між віддаленими імпульсами і поділити отримане значення на кількість періодів між імпульсами.

Налаштуйте приймач так, щоб на графіку можна було побачити кілька, скажімо 10, періодів одночасно. Визначте період, зафіксуйте параметри приймача, прокоментуйте результат.

Виберіть кілька різних частот прийому і вимірюйте періоди на різних частотах, вивчіть залежність періоду пульсара від його частоти.

Заповніть таблицю за наведеним нижче зразком.

Частота, МГц	Перший імпульс	Останній Імпульс	Кількість імпульсів	Період пульсара
400				
600				
800				
1000				
1200				
1400				

Зробіть висновки про залежність періоду пульсара від частоти.

Визначимо залежність інтенсивності прийнятого сигналу пульсара від частоти. Зрозуміло, що така залежність має місце, адже для отримання однаково гарних графіків ви повинні були трохи підстроювати приймач при переході від однієї частоти до іншої. Встановіть постійне значення **Vertical Gain = 4** і не змінюючи параметрів приймача, вивчіть залежність інтенсивності сигналу на графіку від частоти.

На якій частоті сигнал найсильніший? Яку частоту прийому слід встановити щоб з найменшими можливими втратами провести дослідження невідомого пульсара, або проводити пошук нових? Приведіть свої аргументи.

Вивчення періодів пульсарів.

Нагадаємо, що період пульсара, це період обертання зірки навколо осі. Уявіть зірку, масою рівною масі Сонця, яка обертається навколо осі за секунду! Така система швидко втрачає енергію. Кажуть, що пульсари старіють, їх періоди при цьому збільшуються.

Знайдіть періоди всіх пульсарів, представлених у Hot List. Спробуйте розташувати їх у порядку зменшення сили сигналу.

Заповніть таблицю згідно зразка.

Пульсар	Частота	Перший імпульс	Останній імпульс	Кількість періодів	Період	Відносна сила

Знаходження відстані до пульсара за міжзоряною дисперсією

Метод

Більшість пульсарів неможливо побачити у оптичні телескопи, так, що для визначення відстаней до них неможливо скористатись тими методами, що використовуються для зірок. Для пульсарів при визначенні відстаней як правило користуються методом, зв'язаним з поняттям міжзоряної дисперсії. Справа в тому, що міжзоряне середовище не можна вважати абсолютно пустим. В середньому на один кубічний сантиметр міжзоряного простору припадає кілька атомів і кілька вільних електронів. Це небагато, але досить, щоб трохи сповільнити електромагнітні хвилі. Чим менша частота, тим повільніше поширюються хвилі. Це означає, що хоча ефект дуже малий, але імпульси від пульсара приходять на вищій частоті на частку секунди раніше, ніж на нижчій. Ви можете вивчити це явище, оскільки приймач дозволяє приймати сигнали на різних частотах і одночасно показувати їх на графіку.

Вимірюючи моменти приходу імпульсів від того ж пульсара на різних частотах ви можете визначити відстань до пульсара, оскільки ви знаєте закон дисперсії електромагнітних хвиль у міжзоряному середовищі.

Дисперсія сигналів пульсарів у міжзоряному середовищі

Групова швидкість поширення сигналів у плазмі міжзоряного середовища:

$$u = c \cdot n_v$$

де $n_v = \sqrt{1 - (v_p / v)^2}$ - показник заломлення для електромагнітних хвиль,

$$v_p = \sqrt{n_e e^2 / \pi m_e} - \text{плазмова частота.}$$

Час проходження сигналом відстані L

$$t = \frac{L}{u} \cong \frac{L}{c} + \frac{e^2}{2\pi m_e c} \cdot \frac{D_m}{v^2}$$

ми замінили вираз для n_v рядом, і залишили в ньому лише члени першого порядку по $\frac{v_p}{v}$

$$D_m = \int_0^L n_e dl - \text{міра дисперсії.}$$

Різниця моментів часу приходу імпульсу пульсара на двох частотах v_1 та v_2 , при умові, що $v_1 > v_2$ обчислюється за формулою

$$\tau_{12} = \frac{e^2}{2\pi m_e l} D_m \left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2} \right).$$

В таблицях параметрів пульсарів приводять величину D_m . Виходячи з середнього значення електронної концентрації вздовж променя зору $\langle n_e \rangle \approx 0.03 \text{ cm}^{-3}$ відстань до пульсара можна знайти за таким співвідношенням:

$$L = \frac{D_m}{\langle n_e \rangle}, \quad \text{де} \quad D_m = \tau_{12} \cdot \frac{2\pi m_e l}{e^2} \left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2} \right)^{-1}.$$

Визначення відстані до пульсарів

Направте радіотелескоп на пульсар 0628-28. Налаштуйте приймач на 400 МГц, **Vertical Gain = 4, Horz Sec = 4**. Переконайтесь, що імпульси придатні для аналізу.

Додайте ще один приймач (канал прийому). Для цього натисніть кнопку **Add channel**. Вікно сигналу другого приймача з'являється під першим. Встановіть параметри другого приймача на ті ж значення, що й у першому. Встановіть значення **Freq.Incr** приймача на 10 МГц, що дозволить змінювати частоту другого приймача по 10 МГц за крок.

Ввімкніть приймачі кнопкою **Mode** на верхньому. Обидва приймачі починають працювати. Оскільки вони приймають один і той же сигнал на одній і тій же частоті, обидва графіки повинні бути однакові (за виключенням того, що шуми приймачів можуть трошки відрізнятись). Виявимо залежність часу приходу імпульса від його частоти.

Переключіть частоту другого приймача на 410 МГц. Зачекайте кілька секунд.

Переключіться на 420 МГц, 430 МГц ... 600 МГц.

Що можна сказати про моменти приходу імпульсів на вищих частотах? Дайте короткий коментарій.

Додайте ще один канал на частоті 800 МГц.

Чи узгоджується результат, видимий на екрані з очікуванням? Поясніть.

Вимірюємо моменти приходу імпульсів. Спочатку потрібно записати дані кількох приймачів у один файл а потім проаналізувати їх спеціальною програмою аналізу.

Вимкніть приймачі та переконайтесь, що вони налаштовані на 400, 600, 800 МГц, а інші параметри однакові **Vertical Gain = 4, Horz Sec = 4**.

Почніть запис даних кнопкою **Recorder**, а потім ввімкніть приймачі кнопкою **Mode**.

Дайте можливість приймачам просканувати 5-6 екранів даних (4 з них буде записано).

Вимкніть приймачі. Комп'ютер повідомить, що записано 1600 точок і покаже для перевірки назву об'єкта. Натисніть **Ok**. З'являється ще одне вікно (чисто інформаційне), у якому приводиться інформація про об'єкт, момент початку запису, частоти, інтервал вибірки.

Натисніть **Ok**. Комп'ютер спитає, чи не бажаєте ви аналізувати дані зараз. Відповідайте **yes** і комп'ютер спитає вас про ім'я файла. **Введіть ім'я файла та занотуйте його для себе**. Вимкніть приймачі.

Виберіть **Run...Data Analysis** з головного меню. Якщо ви не вимикали програму, повинно з'явитися вікно з параметрами щойно створеного файла. В іншому випадку скористайтесь стандартною можливістю **File...Load** щоб завантажити потрібний файл.

Ви отримаєте вікно з трьома графіками. Вони дуже подібні до графіків, які записуються приймачами. Поекспериментуйте з програмою. Ви можете проводити вимірвальні лінії, рухатись по скану, збільшувати та зменшувати масштаб.

Вимірюємо моменти приходу імпульсів на трьох частотах. Розгорнемо вікно так, щоб на екрані було видно два імпульси. Підготуйте вікно так, щоб імпульс на 400 МГц був у правій половині верхнього вікна. Ви повинні побачити цей же імпульс на інших приймачах. На ці приймачі він прийшов раніше: спочатку на приймач з частотою прийому 800 МГц, а дещо пізніше – на 600 МГц.

Проведіть вимірювання. Натиснувши і утримуючи ліву кнопку встановіть синю вертикальну лінію посередині імпульса на 400 МГц. Читайте і фіксуйте на папері момент приходу імпульса. Аналогічно вимірюємо час приходу імпульса для приймача 600 МГц і 800 МГц.

Знайдіть відстань до пульсара, аналізуючи всі можливі комбінації пар частот. Очікуваний результат ~1000 пс. Самостійно знайдіть пульсар 2154+20 на небі та відстань до нього.

Додатковий завдання

Відстань до короткоперіодичного пульсара.

Виміряйте відстань до пульсара у Крабовидній туманності та до пульсара 0740-28 використавши метод дисперсій. Будьте уважні, щоб чітко розрізнити де який імпульс, бо їх можна загубити. Тому змінюйте частоту другого та третього приймачів плавно, відстежуючи поведінку кожного імпульса на графіках.

Вимірювання ширини діаграми телескопа

Для цього треба виміряти час, необхідний для того, щоб амплітуда сигналу пульсара зменшилась наполовину при вимкненому годинниковому механізмі. Оскільки Земля повертається на 1 градус за 4 хвилини, то це дозволить обчислити кутову відстань

пульсара від осі діаграми направленості телескопа у момент, коли сигнал зменшився наполовину.

Виберіть сильний пульсар, наприклад 0740-28. Установіть телескоп на нього, переконайтесь, що годинниковий механізм працює. Відрегулюйте підсилення так, щоб імпульси сягали половини висоти екрана (вони, звичайно, трохи змінюються з часом, але в середньому вони рівні). Вимкніть годинниковий механізм і зафіксуйте момент часу. Почекайте, поки висота піків упаде наполовину. Зафіксуйте момент часу.

Цих даних достатньо, щоб знайти ширину діаграми спрямованості телескопа та його розміри.

Вимірювання сповільнення швидкості обертання пульсара

Пульсари з часом потроху сповільнюються, оскільки втрачають енергію. Деталі методу досить складні, щоб їх тут описувати. Але головна ідея полягає в тому, щоб вимірювати періоди у різні моменти часу, бажано далекі між собою. (У меню **Files** є пункт **Date/time**, який дозволяє змінити шкалу часу). Потрібна надзвичайно велика точність вимірювання періоду. Тому дати спостереження повинні бути розділені інтервалом у рік, чи десь біля цього, щоб можна було цю різницю періодів виміряти. Потрібно проводити вимірювання сотень і тисяч періодів, а тоді усереднювати результати, щоб отримати періоди з необхідною точністю. Для цього треба виміряти точні моменти приходу імпульсів, розділених днями і порахувати число періодів між ними.

Разом з викладачем побудуйте план спостережень, проведіть їх та визначте сповільнення одного з пульсарів.

Пошуки пульсарів

Радіотелескоп може працювати як меридіанний круг, з вимкненим годинниковим механізмом. Під час обертання Землі діаграма спрямованості радіотелескопа описує по небесній сфері коло. Якщо в діаграму направленості попаде пульсар, ми його побачимо. Але, якщо ширина діаграми дуже мала, то пошук може тривати дуже довгий час. Викладач може встановити іншу ширину діаграми і тоді ви зможете відшукати усі пульсари, які закладено у програму. Це тривалий проект, оскільки в каталог включено понад 500 пульсарів у різних ділянках неба.

Спробуйте знайти ці пульсари та нанести їх положення на карту. Чи розподіл пульсарів однорідний, чи може вони концентруються? Які особливості розподілу пульсарів вам вдалося виявити?