

Лабораторія МАНЛаб

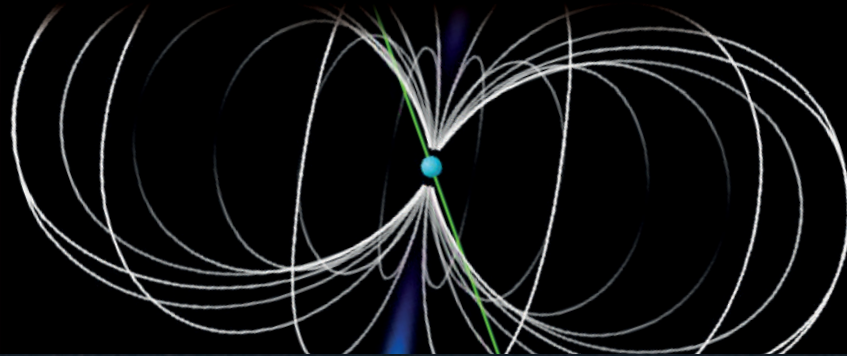


Комп'ютерна астрономія

Лабораторний практикум

**THE VIRTUAL
EDUCATIONAL
OBSERVATORY**

A LABORATORY RESOURCE FOR ASTRONOMY



КИЇВ
2019



Лабораторія МАНЛаб

Комп'ютерна
астрономія.
Лабораторний
практикум

Київ
2019

УДК 372.8
ББК 74.26

Комп'ютерна астрономія. Лабораторний практикум : робочий зошит /

упоряд. І. С. Чернецький. – К., 2019. – 28 с.

Робочий зошит призначено для виконання робіт лабораторного практикуму з астрономії. Лабораторний практикум виконується з використанням безкоштовного програмного забезпечення, розміщеного в мережі Інтернет. Видання адресовано учням Малої академії наук України та загальноосвітніх шкіл.

УДК 372.8
ББК 74.26

Лабораторна робота № 1

Тема роботи: Фотометрія зірок скупчення Плеяди

Завдання роботи:

1. Використовуючи модельний фотометр та фільтри UBV, визначити видимі зоряні величини зірок у скупченні Плеяди.
2. Побудувати діаграму спектр-світність та встановити абсолютні значення зоряних величин.
3. Розрахувати відстань до зоряного скупчення Плеяди.

Обладнання: програма *VIREO*

(<http://vireo-the-virtual-educational-observator5.software.informer.com/>).

Теоретична частина

В основу методу вимірювання відстані до зоряного скупчення покладено припущення про те, що зірки скупчення розташовані одна від одної на відстані набагато меншій, ніж відстань від спостерігача до самого скупчення. Для обрахунку середньої відстані необхідно знати видимі зоряні величини масиву зірок та їхню абсолютну зоряну величину.

Оскільки у скупченні наявні зірки різного спектрального класу, з масиву даних про них може бути утворена діаграма Герцшпрунга-Рассела. Але для її побудови потрібні значення показника кольору $B-V$ та абсолютні зоряні величини зірок. Щоб отримати показник кольору, необхідно провести вимірювання видимої зоряної величини з використанням фільтрів B і V та знайти різницю між цими значеннями. Для отримання абсолютної зоряної величини необхідний значний масив вимірів цих значень.

Початкова діаграма може бути побудована в системі координат, де на горизонтальній осі відкладено показник кольору $B-V$, а на вертикальній – видима зоряна величина V . Отримана початкова діаграма буде масивом точок, скупчених навколо деякої лінії, що нагадує лінію, утворену зірками головної послідовності.

Щоб установити абсолютну зоряну величину масиву зірок, у цій самій системі координат будують ще одну діаграму, на якій наявні зорі з відомими абсолютними величинами та різними показниками кольору. Обидві діаграми схожі, але рознесені по вертикальній шкалі.

Для подальшого аналізу необхідно побудувати третю діаграму, в якій значення кожної видимої зоряної величини зірки буде зменшене на деяку фіксовану величину, яку ми назвемо «зміщенням». Цю величину добирають експериментально так, щоб третя діаграма якомога точніше сумістилася з діаграмою для зірок головної послідовності. Різниця видимої величини зірки V та «зміщення» дасть значення абсолютної зоряної величини M для кожної зірки скупчення.

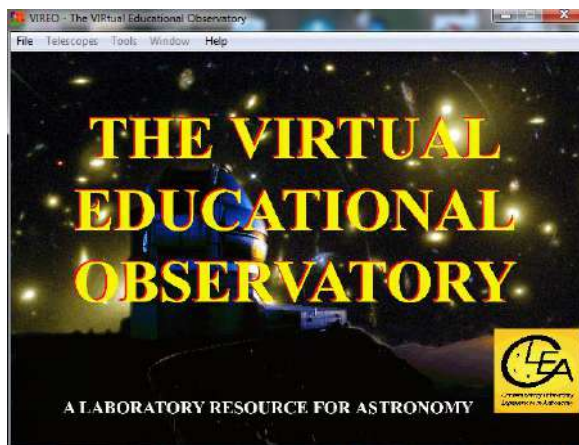
Маючи значення видимої V та абсолютної M зоряної величин для масиву зірок, отримуємо усереднену відстань D до скупчення, що обчислюється за виразом:

$$D = 10^{\left(\frac{V-M+5}{5}\right)} \quad (1).$$

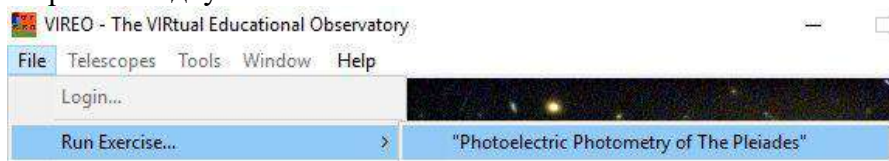
Програма VIREO використовує модельний віртуальний фотометр, який має необхідні фільтри В та V для вимірювання видимої зоряної величини зірки. Окрім того, фотометр підвищує точність вимірювання за рахунок інтеграції кількох вимірів через один і той самий фільтр із регульованим часом накопичення квантів світла та врахуванням фонового випромінювання, що виникає в атмосфері. Програма дає можливість автоматично наводити телескоп на 24 зірки, що входять до скупчення Плеяди, за умови вибору тренувальної вправи Photoelectric Photometry of the Pleiades. Для зручності та автоматизації обрахунків пропонуємо використовувати шаблон, створений у програмі Excel, який завантажується з папки практикуму. Усі діаграми будуються в необхідних координатах з єдиною відмінністю в тому, що зоряна величина відкладається вздовж вертикальної осі в напрямку збільшення.

Хід роботи

1. Запустіть програму VIREO. Введіть свій логін.



2. Оберіть вкладку



3. У новому вікні, що з'явиться, оберіть доступ до телескопа з діаметром дзеркала 0,4 м.

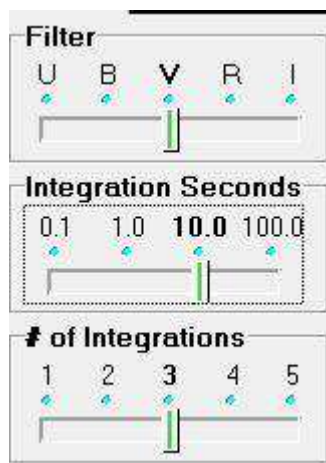


4. Оберіть **Dome – Open**, щоб відкрити купол обсерваторії.
5. Увімкніть панель керування телескопом, натиснувши у правому нижньому куті **Telescope control panel**.

6. У вікні контрольної панелі натисніть кнопку **Tracking**. Телескоп починає слідкувати за обраними у вікні об'єктами, компенсуючи обертання Землі.
7. У цьому самому вікні встановіть перемикач поля зору з шукача **Finder** у телескоп **Telescope**. Червоне коло буде показувати ділянку неба, з якої світло надходить у вимірювальні пристрої.
8. У верхній частині вікна панелі оберіть вкладинку, що виведе на екран список-таблицю 24 зірок скупчення Плеяди.



9. У списку оберіть перший об'єкт і дозвольте системі телескопа віднайти його на небі. Зірка з'явиться в червоному колі.
10. Для початку вимірювального процесу спочатку відкалібруємо фотометр за фоновим випромінюванням неба поблизу досліджуваних зірок. Для цього, використовуючи клавіші керування телескопом у контрольній панелі, змістимо точку спостереження так, щоб у колі не було зірки. Калібрування проводиться один раз і надалі враховується фотометром автоматично.
11. Оберіть на контрольній панелі **Instrument – Photometer – Access**. Якщо в полі зору немає зірки, у вікні фотометра **Object** буде надпис **Sky**. Решту налаштувань оберіть так, як зазначено на малюнку.



Фільтр обрано для видимої величини зорі, збір квантів триватиме 10 с, замір проводитиметься тричі, після чого результат буде опрацьовуватися автоматично.

12. Оберіть **Start** і дочекайтеся завершення збору даних для фільтра V. Установіть перемикач на фільтр B та повторіть дії.
13. Клавішами керування телескопом поверніть зірку в поле вимірювання. Увімкніть **Start** і дочекайтеся вимірів у фільтрі B.
14. Оберіть у вікні фотометра вкладинку запису даних



і пересвідчіться, що вимір записано для фільтра B.

15. Перемкніть фільтр у діапазон V та повторіть виміри і збереження даних.

Лабораторна робота № 2

Тема роботи: Дослідження спектрів зірок

Завдання роботи: проаналізувати спектри зірок та визначити їхній спектральний клас.

Обладнання: програма *VIREO*

(<http://vireo-the-virtual-educational-observator5.software.informer.com/>).

Теоретична частина

Лінії поглинання вперше спостерігав у спектрі Сонця німецький фізик Джозеф фон Фраунгофер у 1814 р. Астрономи Анжело Секкі й Едуард Пікерінг у 1863–1868 рр. були серед перших, хто зрозумів, що зоряні спектри можна поділити на групи відповідно до їхнього загального вигляду. У різноманітних запропонованих схемах класифікації зірки групувалися згідно з особливостями деяких характерних спектральних ліній. У схемі Секкі, наприклад, зірки, що мали дуже сильні лінії водню, називалися зірками типу I; зірки з сильними лініями іонів металів, наприклад кальцію чи заліза – типу II; зірки з широкими смугами поглинання і слабкими спектрами в голубій зоні – типу III і т.д. Ґрунтуючись на цій ранній роботі, астрономи Гарвардської обсерваторії уточнили поняття спектрального класу і перепозначили ці класи літерами A, B, C, ... Вони також започаткували великий проект із класифікації спектрів, який був виконаний силами трьох астрономів – Вільяміни Флемінг, Анні Кенон та Антонії Маурі.

Результатом цієї роботи став Каталог Генрі Дрепера (Henry Draper Catalog). Він був названий на честь американського астронома, який займався впровадженням фотоемульсій у практику спостережень. Саме він отримав першу фотографію спектра зірки. На його честь був створений фонд при Гарвардській обсерваторії, з якого фінансувалися роботи зі створення каталогу. Каталог був опублікований між 1918 та 1924 рр., а два його доповнення – у проміжку часу до 1949 р. Він містив результати класифікації 225300 (з доповненнями – 359082) зірок. Але навіть ця робота представляє тільки малесеньку частину всіх зірок до 10m.

У процесі створення Гарвардської класифікації деякі старі спектральні класи були об'єднані, а нові класи впорядковані так, щоб відобразити неперервні зміни в інтенсивностях характерних спектральних ліній. Послідовність спектральних класів стала виглядати так: O, B, A, F, G, K, M, і хоча назви спектральних класів склалися історично і не мають ніякого значення, ці назви залишилися до сьогодення. Кожний клас ділиться на десять частин у такий спосіб, що зірки класу B0 розташовані після зірок класу O9, а класу A0 – після B9. Спектральний клас O, однак, починається з O5. У цій схемі Сонце має спектральний клас G2.

Перша система спектральної класифікації базувалася на видимих деталях спектра, але фізичний зміст появи таких деталей не був зрозумілим до 30-х – 40-х років минулого століття. А тоді вдалося показати, що, хоча зірки дещо відрізняються за своїм хімічним складом, головним параметром, який визначає спектральний клас зірки, є температура фотосфери. Зірки з сильними лініями іонізованого гелію (HeII), які у Гарвардській класифікації отримали спектральний клас O, – найгарячіші. Їхня температура становить близько 400000 K, оскільки лише за високих температур ці іони наявні в зоряній атмосфері в достатній для утворення ліній поглинання кількості. Зірки класу M із широкими молекулярними

смугами поглинання – найхолодніші. Вони мають температуру близько 30000 К, оскільки при більш високих температурах молекули дисоціюють. Зірки з сильними лініями водню, А-зірки, мають проміжні температури (близько 100000 К). Десяті частини спектральних класів (спектральні підкласи) теж узгоджуються із зазначеною послідовністю. Так, зірки класу В5 холодніші, ніж зірки класу В0, але гарячіші, ніж В9.

Сучасна система спектральної класифікації називається система МК. Вона завдячує своїй появі роботам В. Моргана і Ф. Кіннана з Йеркської обсерваторії. У цій системі спектральної класифікації береться до уваги той факт, що зірки однакової температури можуть мати різні розміри. Наприклад, зірка в сто разів більша за Сонце, але з такою самою поверхневою температурою, матиме деякі особливості спектра і значно більшу світність. У системі МК до спектрального підкласу додається римська цифра, яка вказує на так званий клас світності: I – надгігант, III – гігант, V – зірка головної послідовності тощо. Наше Сонце, типова зірка головної послідовності, має позначатися G2V. У цій роботі ми обмежимося класифікацією тільки зірок головної послідовності, хоча програма дає змогу класифікувати й зірки інших класів світності.

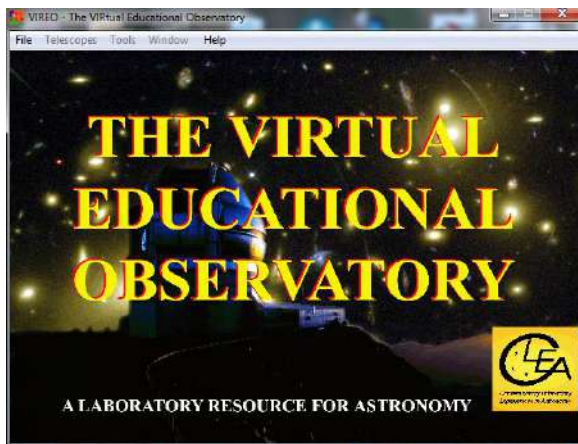
Спектральний клас зірки настільки важливий, що вивчення будь-якої зірки завжди мусить починатися зі спроби його визначення. Якщо зірку не вдається знайти в каталозі спектрів (гарвардському або якомусь іншому), або якщо є сумніви щодо її спектрального класу, її класифікують шляхом отримання її спектра і порівняння його з атласом добре вивчених спектрів яскравих зірок. Донедавна зірки класифікували за фотографіями їхніх спектрів, однак сучасні спектрографи дають можливість отримувати цифрові розрізи спектрів, тобто графіки залежності інтенсивності від довжини хвилі, які часто буває зручніше досліджувати. У програмі VIREO інтервал довжин хвиль (вісь абсцис) від 3900 Å до 4500 Å. Інтенсивність кожного спектра (вісь ординат) нормована, тобто кожне значення помножене на таку сталу, щоб спектр помістився на малюнку, на якому максимальним значенням спектральної інтенсивності є 1.0, а відсутність сигналу відповідає нулю.

Спектральний клас зірки дає астрономам змогу дізнатися не тільки її температуру, а й світність (яка часто виражається абсолютною зоряною величиною) і колір. Ці властивості, взяті разом, можуть допомогти при визначенні відстані, маси і багатьох інших фізичних характеристик зірки, її навколишнього середовища та минулого. Знання спектрального класу є фундаментом для розуміння природи та еволюції зірок.

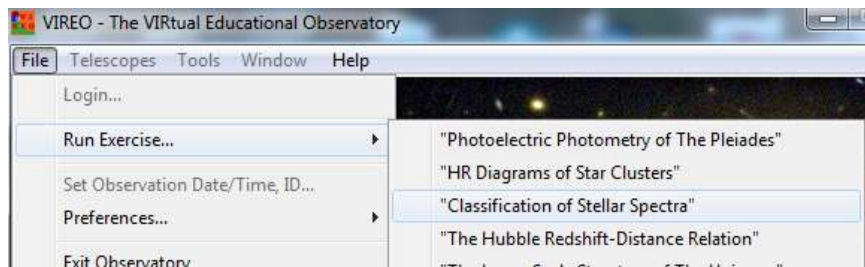
У більш широкому розумінні спектральна класифікація важлива також і тому, що дає можливість звести величезну кількість різних варіацій до скінченної кількості реальних груп із подібними характеристиками. Отже, для астрономії спектральна класифікація настільки ж важлива, наскільки важлива для біології класифікація рослин і тварин за родами та видами Карла Ліннея. Оскільки члени однієї групи мають подібні фізичні характеристики, ми можемо вивчати їх як групу. Тоді незвичайні представники групи легко виділяються саме завдяки очевидним відхиленням своїх властивостей від властивостей групи. Ці особливі об'єкти далі підлягають більш детальному вивченню, щоб зрозуміти сутність їхніх особливостей. Ці винятки з правил часто дають змогу краще зрозуміти головні властивості таких груп. Більше того, вони утворюють еволюційні зв'язки між групами.

Хід роботи

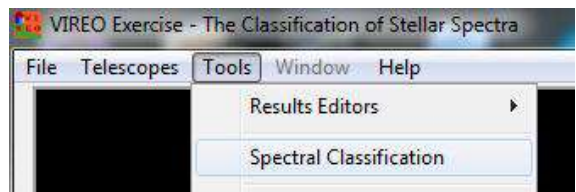
1. Запустіть програму VIREO. Введіть свій логін.



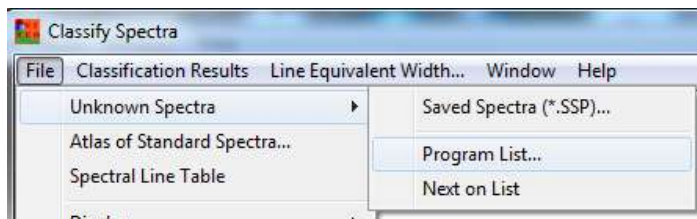
2. Оберіть вкладку



3. У новому вікні, що з'явиться, оберіть



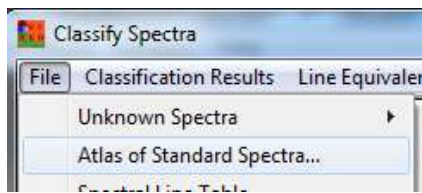
4. Далі оберіть



5. У вкладці, що випаде праворуч, буде перелік зірок, спектри яких потрібно буде ідентифікувати за спектральними класами. Оберіть першу зірку.



6. Її спектр з'явиться посередині вікна вкладки.

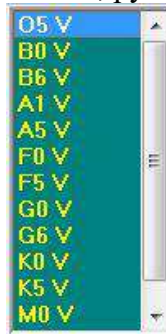


7. Оберіть

8. У вкладці, що з'явиться, оберіть атлас зірок Головної послідовності.



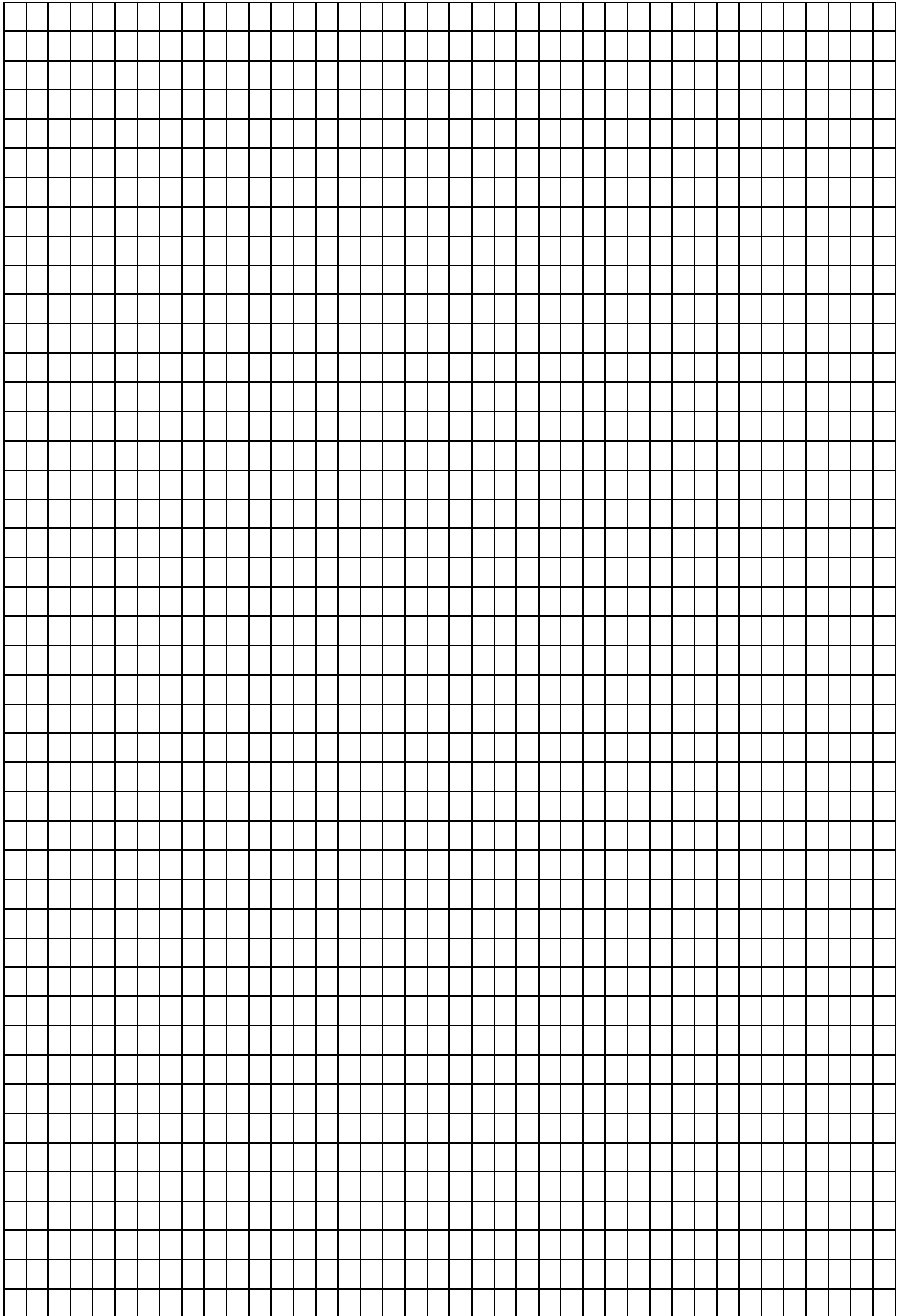
9. У вкладці спектрів вгорі і внизу з'являться еталонні спектри. Їх можна змінювати, рухаючись по вікну.



10. Доберіть спектр, вигляд якого найкраще відповідатиме спектру досліджуваної зірки.
 11. Занотуйте до таблиці назву зірки та її спектральний клас.
 12. Переберіть усі зірки у списку та занотуйте висновки дослідження.

Таблиця результатів

№	Назва зірки	Спектральний клас
1.		
2.		
...		
24.		
25.		



Лабораторна робота № 3

Тема роботи: Дослідження випромінювання пульсарів

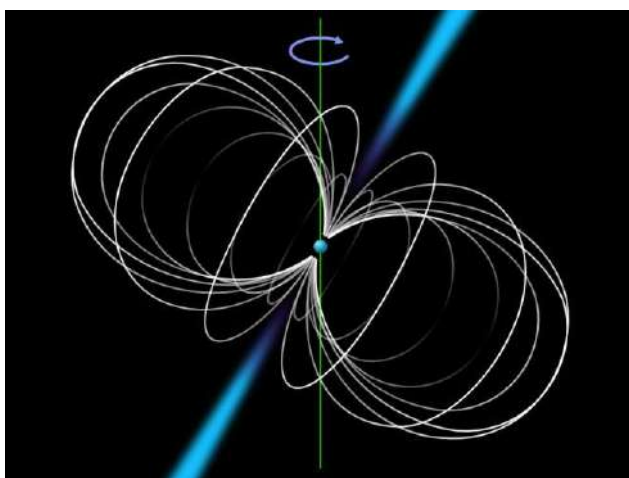
Завдання роботи:

1. Дослідити випромінювання відомих пульсарів та визначити періоди їхніх пульсацій.
2. Розрахувати відстань до пульсарів, використовуючи дисперсію електромагнітних імпульсів.

Обладнання: програма *VIREO*

(<http://vireo-the-virtual-educational-observator5.software.informer.com/>).

Теоретична частина



Пульсари – це компактні джерела випромінювання, які характеризуються чіткою періодичністю імпульсів, що фіксуються в радіодіапазоні. Відкриття пульсарів відбулося 1967 року під час огляду неба за допомогою новозбудованого радіотелескопа. Сплески радіоімпульсів повністю відрізнялися від випромінювання відомих на той час природних джерел. Чітка періодичність і

стабільність випромінювання одразу породила багато теорій, аж до штучності їхнього походження. Відкриття подібних нових джерел у різних ділянках неба та прив'язка їх до деяких незвичайних об'єктів привели до появи гіпотези про те, що вони є природного походження і пов'язані з утвореннями, які називають нейтронними зірками.

Нейтронна зірка як кінцева стадія еволюції масивних зірок є надщільним об'єктом, який утворюється під час гравітаційного колапсу. Маса такого об'єкта наближено дорівнює масі Сонця, а за розміром він є меншим за Сонце майже у 100000 разів. Оскільки зірка, з якої утворюється нейтронна зірка, оберталася, під час колапсу швидкість обертання зростає і період може складати від кількох секунд до тисячних часток секунди. Такий об'єкт має потужне магнітне поле, яке захоплює електрони з навколишнього простору. Рухаючись прискорено, поблизу магнітних полюсів електрони випромінюють радіохвилі, зосереджені в конусі, вершина якого збігається з полюсом. Оскільки магнітні полюси не збігаються з віссю обертання, утворюється ефект «маяка». У разі потрапляння Землі в такий конус випромінювання радіотелескоп фіксуватиме періодичні сплески, що йдуть від точкового джерела.

Оскільки випромінювання не має фіксованої частоти, пульсар реєструється в широкому діапазоні радіохвиль. Сигнал із високою частотою випромінювання (1000–1400 МГц) слабший, ніж сигнал із середньою частотою (400–600 МГц). Однак радіоімпульс рухається в міжзоряній плазмі, за рахунок чого його швидкість залежить від частоти. Таке явище називають дисперсією. Високочастотний імпульс

приходить раніше, ніж імпульс середньої частоти, що і використовують для визначення відстані до пульсара. Вираз для розрахунку відстані має вигляд:

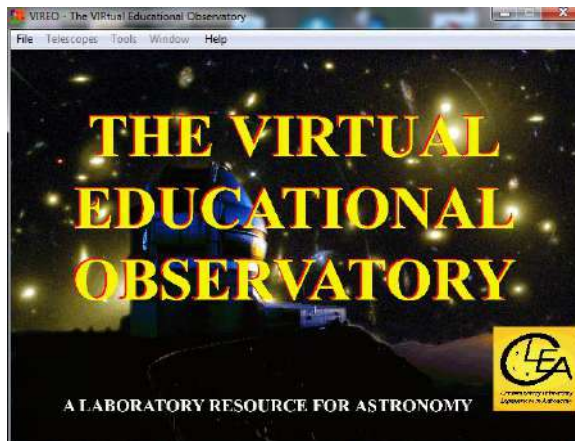
$$D = \frac{T_2 - T_1}{124,5 \left((1/\nu_2)^2 - (1/\nu_1)^2 \right)} \quad (1),$$

де $T_2 - T_1$ - різниця в часі фіксації імпульсів на частотах ν_2 та ν_1 .

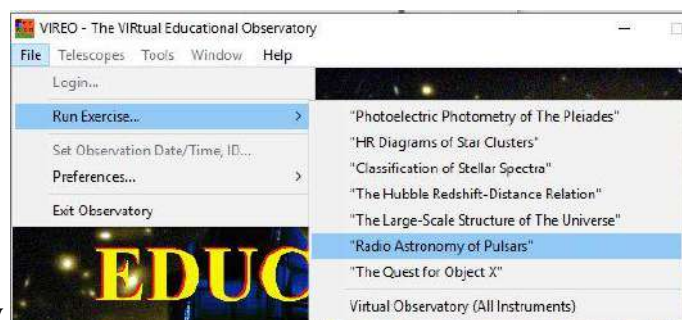
У цій роботі для дослідження пульсарів використовуватиметься модельний радіотелескоп. У базі даних радіотелескопа є відомі пульсари з різними характеристиками. Коли антену телескопа направляють на джерело та налаштовують приймач, у окремому вікні відтворюється послідовність імпульсів. Дослідження пульсара полягатиме у визначенні його періоду, діапазону частот, у якому фіксуються імпульси пульсара, та розрахунку відстані до нього з використанням виразу (1).

Хід роботи

1. Запустіть програму VIREO. Введіть свій логін.



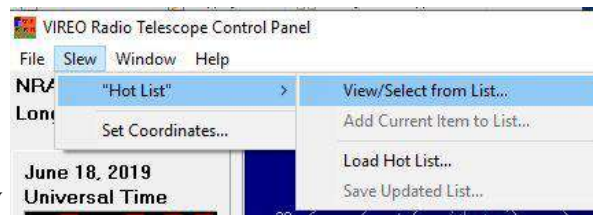
2. Оберіть вкладку



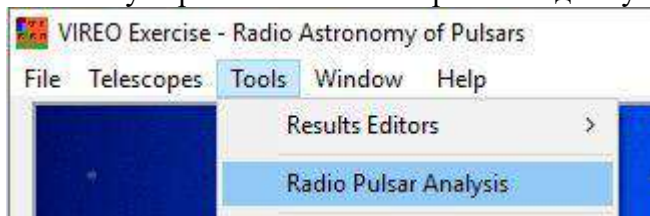
3. У новому вікні, що з'явиться, оберіть



- Увімкніть панель контролю телескопа та оберіть **Tracking**. Невеликий квадрат жовтого кольору на карті неба вказує вісь діаграми направленості антени телескопа.



- Оберіть вкладинку
- У переліку пульсарів оберіть об'єкт 0628-28. Дозвольте телескопу знайти його на небі. Це один із характерних пульсарів.
- Увімкніть приймач кнопкою **Receiver**. За замовчуванням частота прийому складає 600 МГц. Кнопкою налаштування частоти встановіть частоту 400 МГц. Увімкніть приймач кнопкою **Mode**. Сигнал має вигляд піка на рухомому графіку. Спробуйте коригувати його висоту кнопкою **Vert.Gain**. Для подальшого аналізу потрібно дібрати підсилення так, щоб вершина імпульсу не виходила за екран. Дібравши оптимальне підсилення, спробуйте змінити кількість імпульсів на екрані кнопкою горизонтальної розгортки **Horz.Secs**. Використання цієї кнопки буде необхідним для аналізу сигналів короткоперіодичних пульсарів. Вимкніть приймач та, збільшуючи частоту прийому з кроком 100 МГц, визначте діапазон частот прийому, в якому буде спостерігатися впевнена фіксація сигналу від пульсара. Для зміни кроку частоти використовується кнопка **Freq Incr**.
- Для проведення подальших досліджень пульсара потрібно зафіксувати його сигнал на різних частотах і потім дослідити запис. Щоб досягти чіткого результату, доберіть такі налаштування, щоб на екрані було 3–4 імпульси. Для запису сигналу використовується кнопка **Record**. Для одночасного запису сигналу на різних частотах потрібно додати екран ще одного приймача кнопкою **Add Channel**.
- Додайте ще один канал та встановіть більшу частоту прийому. Запустіть одночасний прийом та зверніть увагу на часове зміщення імпульсів, що фіксуються. Доберіть другу частоту так, щоб зміщення було майже до половини періоду між імпульсами. Увімкніть запис сигналу та запустіть процес запису. Після чотириразового проходу графіка від одного краю екрану до іншого зупиніть запис. Збережіть запис, погоджуючись з усіма запитаннями програми, та запам'ятайте місце для запису на диску.
- На головному екрані телескопа оберіть вкладинку



- У новому вікні відобразиться результат запису. Праворуч біля кожного з графіків є вікно позиціонування курсорів – вертикального V та горизонтального H. При активації вікна можна на графіку розміщувати курсорні лінії. У вікні активації з'явиться час, що відповідає позиції курсору. Натискаючи праву клавішу маніпулятора, можна встановити вертикальну лінію, яка перетинатиме всі графіки. Час, що відповідає її положенню, відтворюється у вікні **Reference Cursor**.

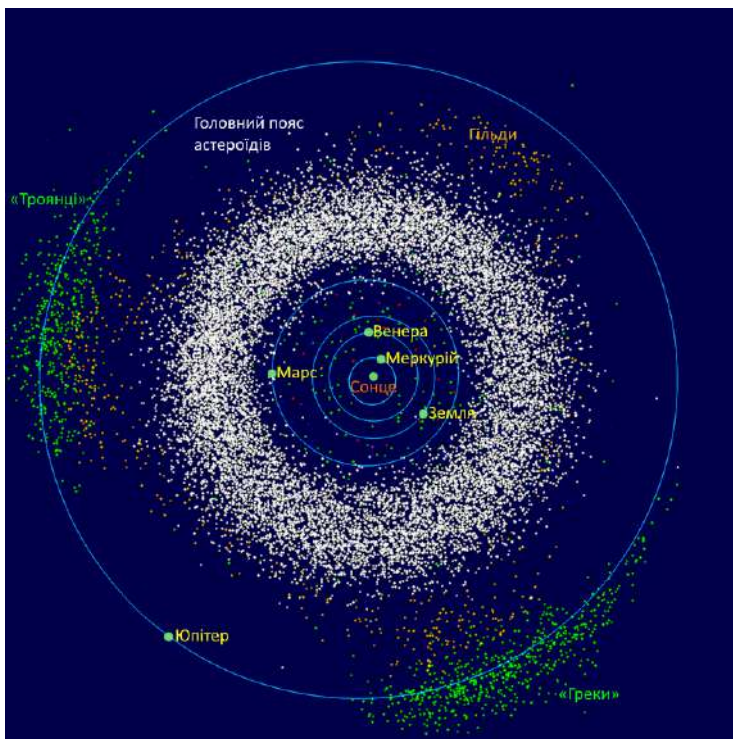
Лабораторна робота № 4

Тема роботи: Ідентифікація астероїдів та вимірювання їхньої швидкості**Завдання роботи:**

1. Використовуючи програмне забезпечення для порівняння світлин однієї і тієї самої ділянки неба, ідентифікувати на них астероїд.
2. Визначити швидкість руху астероїда за допомогою цього ж програмного забезпечення.

Обладнання: програма *LTImage*

(<https://www.schoolobservatory.org/help/ltimage>).

Теоретична частина

Астероїди – це малі тіла Сонячної системи, які мають розміри, що не дають змогу ідентифікувати їх як планети. Розкид у розмірах складає від 1 км до 1000 км. Астероїди вважають залишками протопланетного диска, що залишилися після формування Сонячної системи. Загальна їхня кількість – більше 575 тис., а їхню загальну масу оцінюють у $4,2 \times 10^{21}$ кг, що становить менше одного відсотка маси Землі. Астероїди переважно зосереджені між орбітами Марса та Юпітера в Головному поясі астероїдів, хоча багато з них викинуті

гравітацією великих планет за ці межі. Є значний клас астероїдів, орбіти яких перетинаються з орбітою Землі або наближаються до неї. Спостереження за відомими астероїдами та відкриття нових є як науковим, так і суто прагматичним завданням, оскільки для нашої планети деякі з цих тіл можуть нести небезпеку зіткнення.

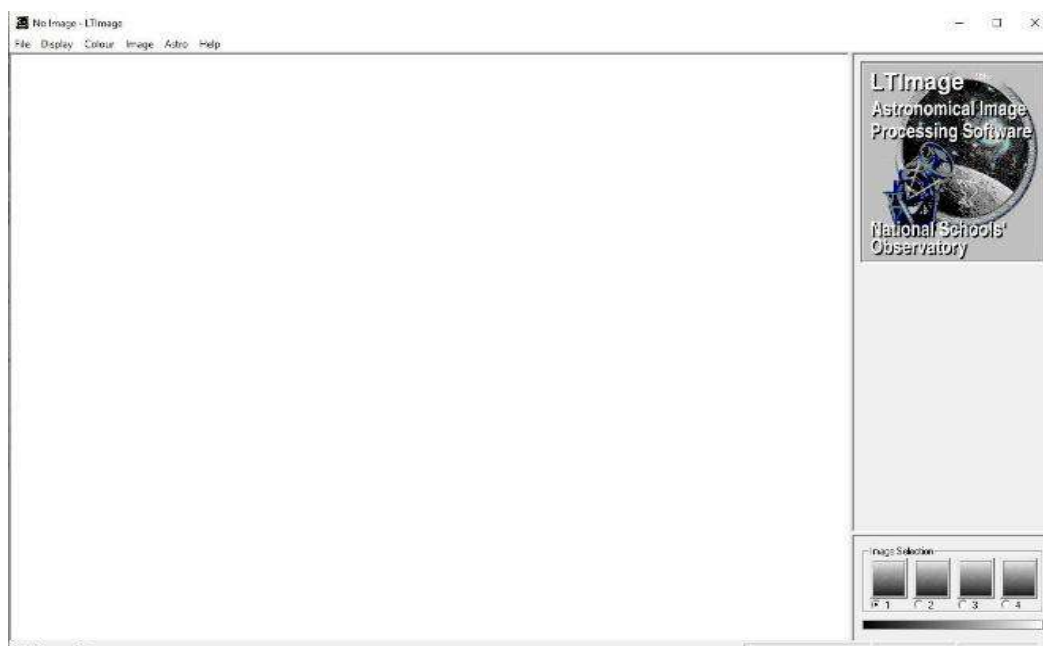
Астероїди мають незначні розміри, тому їхня видима зоряна величина невелика і фіксувати їх неозброєним оком неможливо. Навіть звичайні спостереження в телескоп не дають можливості відрізнити їх від зірок. Проте регулярне фотографування однієї і тієї самої ділянки неба дає змогу ідентифікувати їх за зміщенням на тлі віддалених зірок.

У цій роботі використовуються серії світлин, отриманих на великому роботизованому телескопі у проекті The National Schools' Observatory. Світлини доступні для завантаження з ресурсу зазначеного проекту https://www.schoolobservatory.org/discover/projects/asteroidwatch/ast_download.

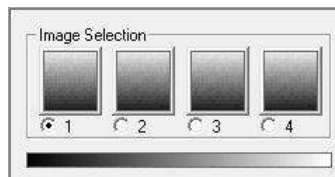
Для виконання вимірювань використовується безкоштовне програмне забезпечення *LTImage*. <https://www.schoolobservatory.org/help/ltimage>. Програмне забезпечення просте у використанні і багатофункціональне. Для ідентифікації астероїда використовується принцип швидкого перемикання між кількома світлинами, а для вимірювання швидкості – розрахунок зміщення об'єкта за відомий проміжок часу. Кожна світлина містить інформацію про час та дату отримання. Зміщення визначається у пікселях, які перераховуються в одиниці відстані за калібрувальними даними світлини.

Хід роботи

1. Запустіть програму *LTImage*.



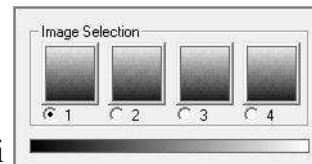
2. Зверніть увагу на праву частину вікна програми. У нижній частині має бути



позначка, що обрано поле для першої світлини.

3. З першої робочої папки із завантаженими світлинами перемістіть у поле програми перший файл світлини. Це можна зробити перетягуванням з вікна у вікно. Світлини в робочій папці завантажені з ресурсу https://www.schoolobservatory.org/discover/projects/asteroidwatch/ast_download
4. Перемкніться на наступне вікно, обравши його у правому нижньому куті, та завантажте наступну світлину. Повторіть ці кроки ще для двох вікон, розташовуючи в них світлини з серії для аналізу. Кожна серія складається з 4 світлин. Світлини мають формат *.fit або *.fits, що містить повну інформацію про процес їх отримання.
5. Оберіть у меню вкладинку **Display – Scaling**. У правій частині вікна програми з'являться два повзунка, якими можна регулювати яскравість зображення, добираючи його деталізацію. Також у правій частині є кнопки регулювання кількості деталей на світлині. Доберіть оптимальну якість відтворення об'єктів на світлині і, перемикаючись між рештою світлин, досягніть такої самої якості

зображення. Кожен крок завершуйте натисканням кнопки **Use new Values**, розміщеної над повзунками.



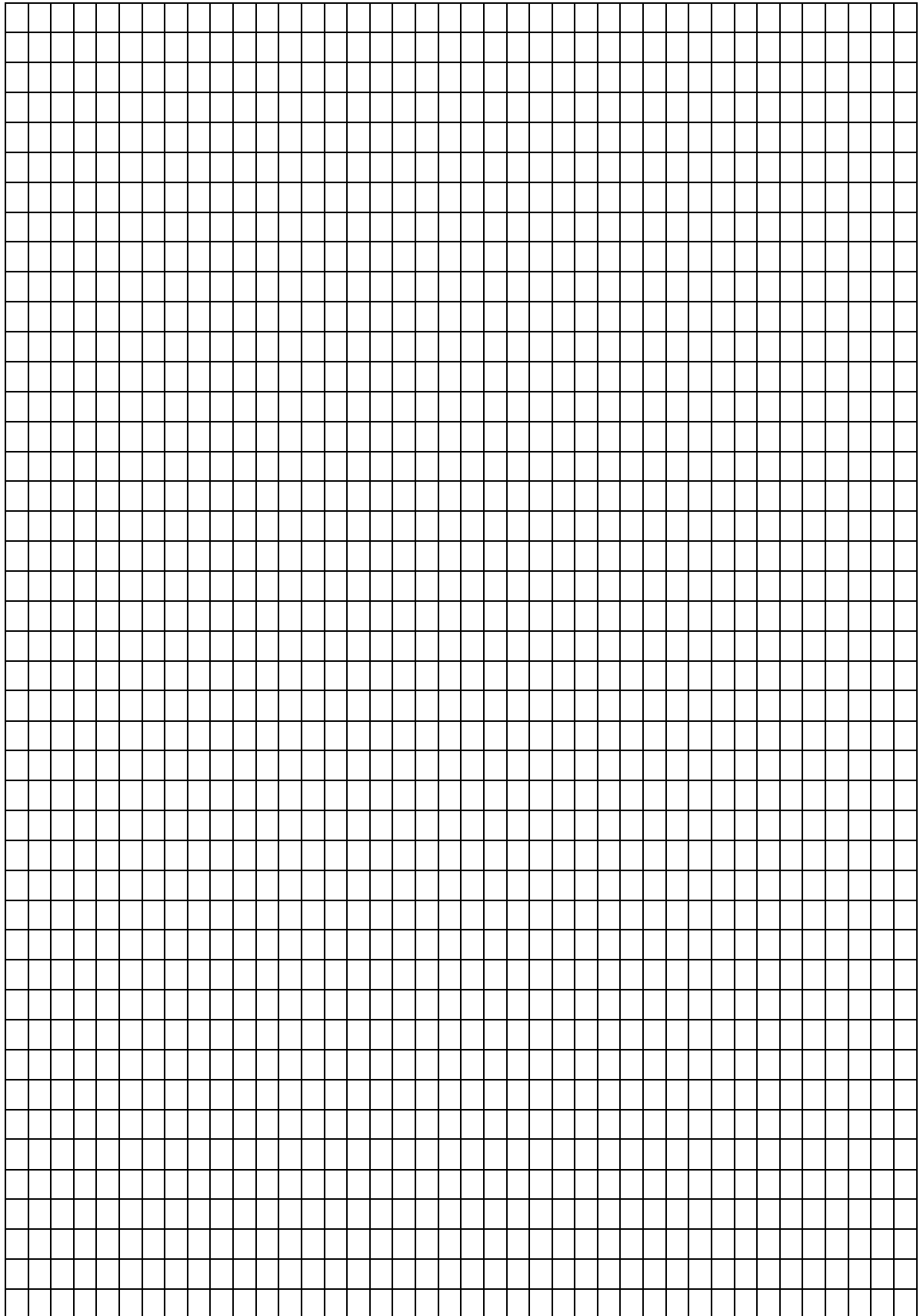
6. Швидко перемикаючись між світлинами у вікні **Image Selection**, знайдіть об'єкт, який зміщується на тлі нерухомих зірок. Перемикання можна робити маніпулятором або клавішами зі стрілками на клавіатурі.
7. Щоб установити час руху астероїда, перемкніться на першу світлину та оберіть вкладинку **Astro – Image Properties**. У правій частині вікна оберіть кнопку **The Observation** та зчитайте час **Time of observation**. Перемкніться на останню світлину і також зчитайте час спостереження. Різниця в часі визначатиме час руху астероїда між першою та останньою світлиною. Занотуйте його.
8. Перша серія містить калібровані світлини, тобто для них визначене співвідношення розмірів пікселя та одиниць відстані. Оберіть кнопку **Calibration** і зчитайте співвідношення розміру пікселя та відстані. Занотуйте це співвідношення. Щоб установити відстань, яку пройшов астероїд, перемкніться на першу світлину та оберіть вкладинку **Astro – Size and Distance**. У цьому випадку вмикається режим вимірювання на світлинах. Помістіть курсор над позицією об'єкта на першій світлинці. Клавішами зі стрілками перемкніться на останню світлину, не змінюючи положення курсора. Після перемикання натисніть ліву кнопку маніпулятора та перемістіть курсор на об'єкт. На зображенні буде утворюватися прямокутний трикутник, який після відпускання кнопки маніпулятора набуде блакитного кольору. У правій частині вікна зчитайте відстань у пікселях та занотуйте її.



9. Розрахуйте відстань у кілометрах, перемноживши кількість пікселів та співвідношення між пікселями й кілометрами. Розрахуйте швидкість руху астероїда, розділивши відстань на час руху. Занотуйте розрахунки до таблиці.
10. Для решти серій світлин калібрування не проводилося, тому, завантажуючи їх по черзі, спробуйте знайти рухомий об'єкт для кожної серії. При виконанні цієї частини потрібно дуже ретельно добирати якість зображень і уважно стежити за об'єктами в полі світлин під час перемикання.

Таблиця результатів

Назва об'єкта	Час руху t (с)	Співвідношення розмірів (км/пкс)	Відстань S (км)	Швидкість руху v (км/с)



Лабораторна робота № 5

Тема роботи: Дослідження власного руху зірки Барнарда

Завдання роботи:

1. Використовуючи програмне забезпечення, визначити відносне розміщення зірки Барнарда та віддалених зірок.
2. Використовуючи шаблон математичних таблиць, визначити відстань до зірки та її власну швидкість.

Обладнання: програма *LTImage*

<https://www.schoolobservatory.org/help/ltimage>.

Теоретична частина



Зоря Барнарда – зоря в сузір'ї Змієносця, зліва від зорі β (Цельбальрай). Зорю також називають летючою, оскільки її власний рух – найбільший серед усіх зір ($10,36''$). Зорю не видно неозброєним оком (видима зоряна величина – $9,54V$). Це тьмянний червоний карлик спектрального класу $M4V$, абсолютна зоряна величина – $+1,83$. Зоря Барнарда – одна з найближчих до Сонця, відстань до неї – $1,83$ пс (близько 6 світлових років,

наразі ближче перебувають лише зорі системи α Центавра). Зорю названо на честь Едварда Барнарда, який відкрив її 1916 року. У зорі підозрюють наявність супутників або планет, але єдиної думки щодо цього серед астрономів немає.

У цій роботі використовуються серії світлин, отриманих на великому роботизованому телескопі у проекті The National Schools' Observatory. Світлини доступні для завантаження з ресурсу згаданого проекту https://www.schoolobservatory.org/discover/activities/barnards_star. Для виконання вимірювань використовується безоплатне програмне забезпечення *LTImage*. <https://www.schoolobservatory.org/help/ltimage>. Програмне забезпечення просте у використанні та багатофункціональне.

Для визначення відстані до зорі використовують річне паралактичне зміщення, а для вимірювання швидкості – розрахунок зміщення об'єкта за відомий проміжок часу. Усі світлини зроблені впродовж 6 років. Кожна світлина містить інформацію про час та дату отримання. Зміщення визначають у пікселях, які перераховують в одиниці відстані за калібрувальними даними світлини. Щоб спростити виконання проекту, основні формули внесені у шаблон, створений у математичних таблицях. Окрім того, в таблицях будується графічне зображення,

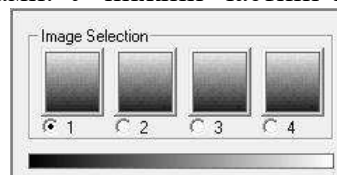
що відтворює рух зірки. Основним практичним завданням при виконанні проекту є точне вимірювання відстані зірки Барнарда від двох інших зірок, що розміщені набагато далі. Вважається, що ці зірки є нерухомими. Вимірювання відстані проводиться програмним забезпеченням; виміряні значення занотуються до першого аркушу шаблону. Виміри необхідно провести для всієї серії світлин. Решта аркушів містять розрахункові вирази та графіки, які використовують дані вимірювань.

Хід роботи

1. Запустіть програму *LTImage*.



2. Зверніть увагу на праву частину вікна програми. У нижній частині має бути



позначка, що обрано поле для першої світлини.

3. З робочої папки із завантаженими світлинами перемістіть у поле програми перший файл світлини. Це можна зробити перетягуванням з вікна у вікно. Світлини в робочій папці завантажені з ресурсу https://www.schoolobservatory.org/discover/activities/barnards_star.
4. Перемкніться на наступне вікно, обравши його у правому нижньому куті, та завантажте наступну світлину. Повторіть ці кроки ще для двох вікон, розташовуючи в них світлини з серії для аналізу. Світлини мають формат *.fit або *.fits, що містить повну інформацію про процес їх отримання.
5. Оберіть у меню вкладинку **Display – Scaling**. У правій частині вікна програми з'являться два повзунки, якими можна регулювати яскравість зображення, добираючи його деталізацію. Також у правій частині є кнопки регулювання кількості деталей на світлинні. Доберіть оптимальну якість відтворення об'єктів на світлинні та, перемикаючись між рештою світлин, досягніть такої самої якості зображення. Кожен крок завершуйте натисканням кнопки **Use new Values**, розміщеної над повзунками.

Лабораторна робота № 6

Тема роботи: Дослідження розширення Всесвіту

Завдання роботи:

1. Отримати спектри віддалених галактик на модельному телескопі.
2. Визначити для кожної галактики відстань та швидкість віддалення.
3. Побудувати графік залежності швидкості віддалення галактик від відстані та вирахувати сталу Хаббла.

Обладнання: програма *VIREO*

(<http://vireo-the-virtual-educational-observator5.software.informer.com/>).

Теоретична частина



У двадцятих роках ХХ ст. Едвін Хаббл уперше вимірював відстані до галактик. Коли він відклав на графіку ці відстані в залежності від швидкості кожної галактики, він помітив ще дещо, що було значно дивніше: чим далі галактика від Чумацького Шляху, тим швидше вона рухається від нас. Астрофізики були готові проінтерпретувати співвідношення Хаббла як доказ загального розширення Всесвіту. Відстані між усіма

галактиками у Всесвіті збільшуються з часом, подібно до родзинок у хлібині, яка зростає з тіста в печі. Спостерігач у будь-якій, не тільки нашій, Галактиці, побачить, що галактики розбігаються, і більш далекі галактики біжать швидше.

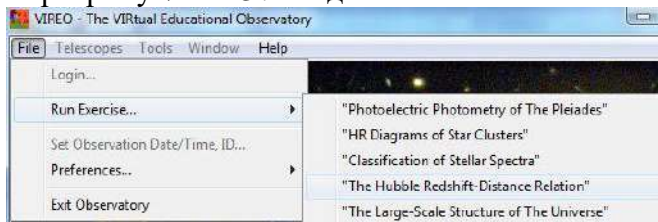
Це було надзвичайне відкриття. Розширення Всесвіту, як вважають зараз, є результатом «Великого Вибуху», який стався між 10 та 20 мільярдами років тому, у момент, який можна обчислити, виконавши вимірювання, подібні до хабблових. Швидкість розширення Всесвіту розповідає нам, як довго він уже розширюється. Ми визначимо швидкість розширення, будуючи графік залежності швидкості галактик від відстані, і визначивши нахил прямої, яка відбиває цю залежність. Цю величину прийнято називати сталою Хаббла, H_0 . Вона показує, як швидко віддаляється від нас галактика, розташована на заданій відстані. Відкриття Хабблом кореляції між швидкістю та відстанню до галактик має фундаментальне значення для заглиблення в історію Всесвіту.

Використовуючи сучасні методи цифрової астрономії, в роботі повторюється експеримент Хаббла.

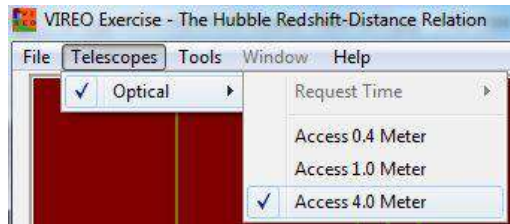
Програма *VIREO* дає вам змогу імітувати спостереження з великим оптичним телескопом, обладнаним камерою та електронним спектрометром.

Хід роботи

1. Запустіть програму **VIREO**. Введіть свій логін.



2. Оберіть



3. Оберіть телескоп



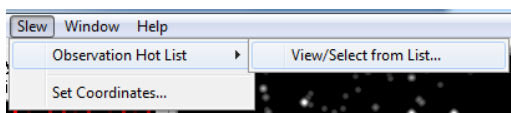
4. Відчиніть купол



5. Виберіть доступ до контрольної панелі телескопа



6. Натисніть кнопку стеження за об'єктом



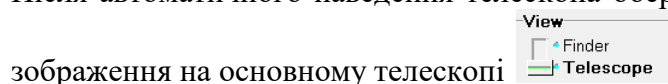
7. Оберіть

8. Оберіть у списку, що з'явився, координати першої галактики та дайте

List	Selection	RA	Dec	Dist	Redshift
1	11h 46m 51.80s	55° 42' 18.0"			
2	11h 47m 21.57s	55° 41' 24.0"			
3	11h 47m 45.60s	55° 46' 22.0"			
4	12h 59m 35.13s	27° 57' 36.0"			
5	13h 00m 08.27s	27° 58' 40.0"			
6	14h 32m 44.27s	31° 33' 48.0"			
7	14h 32m 44.40s	31° 35' 54.0"			
8	15h 22m 24.60s	27° 43' 21.0"			
9	15h 22m 24.60s	27° 44' 27.0"			
10	15h 22m 42.53s	27° 40' 22.0"			
11	23h 10m 22.50s	7° 34' 54.0"			
12	23h 10m 30.43s	7° 35' 22.0"			
13	23h 10m 42.33s	7° 34' 01.5"			

підтвердження на наведення телескопа

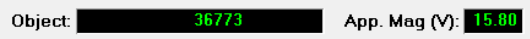
9. Після автоматичного наведення телескопа оберіть у полі керування перехід до




зображення на основному телескопі

10. Досліджувана галактика з'явиться в полі зору у вузькій щілині спектрометра.

11. Оберіть доступ до спектрометра  .

12. У нижній частині вікна з'явиться інформація про назву об'єкта і його видиму зоряну величину m  . Занесіть її до таблиці.

13. У вікні спектрометра, що з'явилося, оберіть кнопку  .

14. Протягом часу, поки записується спектр, побудуйте в оболонці Excel таблицю результатів.

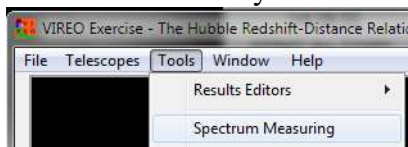
15. Після чіткого промальовування спектру натисніть Stop.

16. Збережіть отриманий спектр

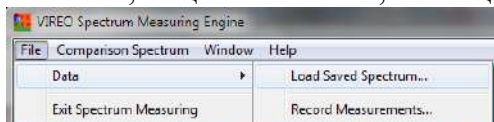


17. Повторіть ці операції з усім списком галактик, зберігаючи їхні спектри.

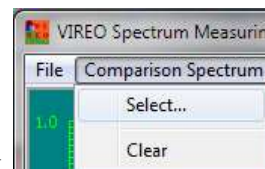
18. На **ГОЛОВНОМУ** вікні керування обсерваторією оберіть



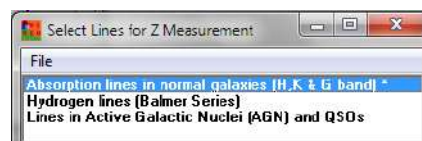
19. У вікні, що з'явиться, а це – спектральний аналізатор, оберіть



20. Завантажте перший з отриманих спектрів галактик.




21. Оберіть базовий перелік ліній спектру порівняння



22. У вікні, що з'явиться, оберіть

23. На екрані з'являться лінії порівняння для двох елементів К (3933.67Å), Н (3968.847Å).

24. За допомогою елемента керування у вікні , перемістіть ці лінії до збігу з характерними піками у спектрі



25. Визначте різницю довжин хвиль в отриманому й еталонному спектрі
 $\Delta\lambda_H = \lambda - \lambda_{\text{ет}}$, $\Delta\lambda_K = \lambda - \lambda_{\text{ет}}$. Занесіть результат до таблиці.
26. Повторіть ці кроки для решти спектрів галактик. Зверніть увагу на відповідність результату й назви об'єкта.

Аналіз даних

- Оскільки абсолютна зоряна величина, видима зоряна величина та відстань до типової галактики визначається співвідношенням $M = m + 5 - 5\lg D$, у колонці, що відповідає відстані до галактики D, задайте формулу для її вираження. Абсолютна зоряна величина типових галактик дорівнює 22^m . Відстань до галактики буде виражена у парсеках.
- Прорахуйте відстані до решти галактик.
- Задайте в колонці, що відповідає швидкості руху галактики v , формулу $v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$. Отримайте значення швидкості по лінії водню та калію. $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.
- Прорахуйте швидкості для решти галактик.
- Усередніть значення швидкості.
- Оберіть побудову точкового графіка та побудуйте залежність швидкості від відстані.
- Апроксимуйте отриманий графік прямою. Зчитайте множник біля аргументу – він і відповідатиме значенню сталої Хаббла.
- Занотуйте висновки до роботи.

