

Класифікація спектрів зірок

Мета

Ознайомлення з методикою та практикою спектральної класифікації зірок. Знаходження відстаней до зірок за методом спектроскопічних паралаксів.

Завдання

Отримати спектри на модельному телескопі та спектрометрі.

Визначити достатнє значення відношення сигнал/шум і отримати спектр при оптимальному значенні цього параметра

Зберегти отримані спектри у вигляді файлів для їх подальшого вивчення.

Порівняти ці спектри зі стандартними спектрами зірок відомих спектральних класів.

Виділити характерні ознаки зірок різних спектральних класів головної послідовності та класифікувати спектри зірок.

Виділити характерні лінії поглинання в спектрах, представлених у вигляді фотографічного зображення або графіка залежності інтенсивності від довжини хвилі.

Оцінити відносні інтенсивності ліній поглинання з вимірювань спектрів та їх порівняння зі стандартними спектрами.

Визначити еквівалентні ширини окремих ліній.

Використати спектральну класифікацію при визначенні відстаней до зірок.

Деякі терміни, знання яких обов'язкове

Ангстрем	Абсолютна величина	Видима величина	Головна послідовність
Довжина хвилі	Еквівалентна ширина	Емісійні лінії	Закони випромінювання
Закон Віна	Закон Планка	Інтенсивність	Клас світності
Континуум	Лінії поглинання	Модуль відстані	Молекулярні смуги
Нейтральні атоми	Світність	Спектр	Спектрометр
Спектральні лінії	Серія Бальмера	Серія Лаймана	Стани іонізації
Схилення	Пряме піднесення	Температура	Фотон
Чорне тіло	H I	Ca II	

Історія та фізичні основи спектральної класифікації

Лінії поглинання вперше спостерігалися у спектрі Сонця німецьким фізиком Джозефом фон Фраунгофером в 1814 р. Астрономи Анжело Секкі і Едуард Пікерінг (1863-68) були серед перших, хто зрозумів, що зоряні спектри можна поділити на групи у відповідності до їх загального вигляду. У різноманітних пропонованих схемах класифі-

кації зірки групувались згідно з особливостями деяких характерних спектральних ліній. У схемі Секкі, наприклад, зірки, що мали дуже сильні лінії водню, називались зірками типу I, зірки з сильними лініями іонів металів, наприклад, кальцію чи заліза – типу II, зірки з широкими смугами поглинання і слабкими спектрами у голубій області – типу III, і т.д. Грунтуючись на цій ранній роботі, астрономи Гарвардської обсерваторії уточнили поняття спектрального класу і перепозначили їх літерами A, B, C, ... Вони також започаткували великий проект по класифікації спектрів, який був виконаний силами трьох астрономів - Вільяміні Флемінг, Анні Кенон, Антонії Маурі. Результат цієї роботи – **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 по створенню каталога. Каталог був опублікований між 1918 та 1924 рр., а два його доповнення у проміжку часу до 1949 р., і містив результати класифікації 225300 (з доповненнями – 359082) зірок. Але навіть ця робота представляє тільки малесеньку частину всіх зірок до 10^m .

В процесі створення Гарвардської класифікації деякі старі спектральні класи були об'єднані, а нові класи переупорядковані 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 склались історично і не мають ніякого змісту, ці назви залишились до сьогоднішнього дня. Кожний клас ділиться на десять частин, так 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 [2,3].

Перша система спектральної класифікації базувалась на видимих деталях спектра, однак фізичний зміст появи таких деталей не був зрозумілим до 30-х – 40-х років. 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 близько 40000^0K , оскільки лише при високих температурах ці іони присутні у зоряній атмосфері в достатній для утворення ліній поглинання кількості. Зірки класу M з широкими молекулярними смугами поглинання найхолодніші, їх температура близько 3000^0K , оскільки при більш високих температурах молекули дисоціюють. Зірки з сильними лініями водню, A-зірки, мають проміжні температури (близько 10000^0K). Десяті частини спектральних класів

(спектральні підкласи) теж узгоджуються з вказаною послідовністю, так, зірки класу B5 холодніші, ніж зірки класу B0, але гарячіші, ніж B9. (Див.додаток 1).

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 приймається до уваги той факт, що зірки однакової температури можуть мати різні розміри. Наприклад, зірка в сто разів більша, ніж Сонце, але з такою ж поверхневою температурою, буде мати деякі особливості спектра і значно більшу світність. У системі МК до спектрального підкласу додається римська цифра, котра 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 дозволяє проводити класифікацію також і для інших класів світності.

Спектральний клас зірки настільки важливий, що вивчення будь-якої зірки завжди мусить починатися зі спроби визначення її спектрального класу. Якщо її не вдається знайти у каталозі спектрів (гарвардському, або якомусь іншому), або якщо є сумніви щодо її спектрального класу, зірку класифікують шляхом отримання її спектра і порівняння його з атласом добре вивчених спектрів яскравих зірок. Донедавна спектри класифікувались шляхом отримання фотографій спектрів зірок, однак сучасні спектрографи дозволяють отримувати цифрові розрізи спектрів, тобто графіки залежності інтенсивності від довжини хвилі, які часто буває зручніше досліджувати. На рис.1 (див.дискету, файл Figs\Pic01.gif) показано деякі цифрові спектри головних спектральних класів класифікації МК. 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 дозволяє астрономам узнати не тільки її температуру, а також її світність (яка часто виражається абсолютною зоряною величиною) і її колір. Ці властивості, узяті в цілому, можуть допомогти при визначенні відстані, маси і багатьох інших фізичних характеристик зірки, оточуючого її середовища, її минулого. Знання спектрального класу є фундаментом для розуміння природи та еволюції зірок.

У більш широкому розумінні, спектральна класифікація важлива також і тому, що дозволяє звести величезну кількість різних індивідуальностей до скінченної кількості реальних груп з подібними характеристиками. Таким чином, можна говорити, що для астрономії спектральна класифікація настільки ж важлива, наскільки важлива в біології класифікація рослин та тварин за родами та видами Карла Ліннея. Оскільки члени однієї

групи з очевидністю 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 суть їхніх особливостей. Ці винятки з правил часто дозволяють краще зрозуміти головні властивості таких груп. Більше того, вони утворюють еволюційні зв'язки між групами.

Вступ до роботи

Комп'ютерна програма складається з двох частин. Перша частина - це модуль для показу та класифікації спектрів. Він дозволяє переглядати спектр зірки та порівнювати його зі спектром стандартних зірок відомих спектральних класів. Цей модуль полегшує вимірювання довжин хвиль та інтенсивностей спектральних ліній і організує доступ до списку відомих спектральних ліній щоб допомогти ідентифікувати спектральні особливості та ототожнити їх з відомими хімічними елементами.

Друга частина програми - це реалістична модель астрономічного спектрометра, встановленого на одному з трьох телескопів – малого, середнього та великого розміру. Ви повинні вибрати найбільш придатний для вашої мети телескоп. До телескопа приєднана телевізійна камера, так що ви можете бачити зоряне поле, на яке спрямована установка, причому, як при малому, так і при великому збільшенні. Ви можете скерувати телескоп так, щоб світло від зірки проходило крізь щілину спектрометра, ввімкнути спектрометр і почати збір фотонів. На дисплеї фотометра можна побачити спектр джерела в процесі того, як відбувається процес збору фотонів. Спектр - це запис інтенсивності зібраного світла в залежності від довжини хвилі. Коли буде накопичено достатню кількість фотонів, ви зможете розрізняти окремі спектральні лінії, що дасть змогу провести спектральну класифікацію.

Ви можете використати телескоп для отримання спектрів зірок, список яких надасть вам викладач. Потім ви класифікуєте спектри, порівнюючи їх зі спектрами стандартних зірок, що вже є в комп'ютері, подібно до того, як ви це робили у першій частині роботи.

План роботи

Знайомство з екранами допомоги (**Help**).

Вхід (**Login**) та занесення облікової інформації про студента.

Знайомство з характерними рисами зоряних спектрів у модулі **Classify Spectra** і класифікація кількох спектрів зірок різних спектральних класів.

Знайомство з управлінням модельним телескопом та спектрометром. Отримання спектрів з високим відношенням сигнал / шум для кількох зірок модельного поля.

Класифікація отриманих спектрів і визначення на основі цієї інформації відстаней до невідомих зірок.

Визначення еквівалентних ширин кількох характерних ліній спектрів зірок. Побудова залежності еквівалентної ширини лінії від класу світності зірки.

I. Спектральна класифікація зірок головної послідовності

Мета

Познайомитися з особливостями спектрів зірок головної послідовності. Навчитися класифікувати зірки головної послідовності шляхом порівняння їх спектрів з атласом спектрів вибраних стандартних зірок.

Метод

Дослідити цифрові спектри 25 невідомих зірок, визначити їх спектральний клас, записати результати і ваші аргументи щодо класифікації кожної зірки. Спектри слід порівнювати візуально, або цифровим способом (точка за точкою) з репрезентативним атласом 13 стандартних спектрів, а також вивчаючи відносні інтенсивності характерних ліній поглинання. Необхідно класифікувати усі невідомі зірки з точністю до однієї десятої спектрального класу, навіть якщо їх спектральний клас лежить між спектральними класами зірок, взятих з атласу.

Процедура

Виберіть функцію **Classify spectra** в меню **Run**. Відповідайте **no** на запитання комп'ютера щодо записаних спектрів (пізніше ми займемося цими спектрами). Тепер ви у модулі класифікації спектрів рис.2. (див. дискету, файл Figs\Pic02.gif). Екран розбивається зверху вниз на три панелі, справа з'являється кілька керуючих елементів, зверху меню. Центральна панель буде використовуватися для відображення спектра невідомої зірки, верхня та нижня панелі – для спектрів стандартних зірок у процесі порівняння зі спектром невідомої. Давайте познайомимося з можливостями цього модуля, класифікуючи список з 25 невідомих спектрів, який надається для практики.

Викличте спектр пробної невідомої зірки. Для цього виберіть пункт меню **Load**. Ви побачите три можливості: **Unknown Spectrum, Atlas of Standard Spectra, Spectral Line Table**. (Невідомий спектр, Атлас стандартних спектрів, Таблиця спектральних ліній).

Виберіть **Unknown Spectrum**, а у ньому - **Program List**. З'являється вікно, у якому наведено список пробних зірок за іменами. Виберіть першу за списком зірку - **HD124320** – клацнувши на ній мишкою, і натисніть кнопку **Ok**. Спектр HD 124320 з'явиться у центральній панелі екрану класифікації.

Уважно розгляньте спектр. Зверніть увагу на те, що ви маєте графік залежності інтенсивності від довжини хвилі. Цей шматок спектра обмежений довжинами хвиль від 3900 Å до 4500 Å, а шкала інтенсивності нормована від 0.0 (світла нема) до 1.0 (найбільша інтенсивність). Найвищі точки спектра представляють так званий **континуум** - це загальний потік світла від фотосфери зірки, в той час як **лінії поглинання** – заглибини у спектрі, які формуються атомами та іонами над фотосферою зірки. Ви можете виміряти довжину хвилі та інтенсивність у довільній точці спектра, поставивши на неї курсор та натиснувши ліву кнопку миші. Форма курсора зміниться з стрілки на хрест, що полегшить установку курсора на необхідну точку спектра.

Виберіть довільну точку на континуумі HD 124320, запишіть її довжину хвилі та інтенсивність. Виміряйте довжину хвилі та інтенсивність найглибшої точки найглибшої лінії поглинання спектра HD 124320, запишіть результати.

Відзначимо, що спектр, який ви тут маєте, типовий для спектральної класифікації і не покриває всього діапазону довжин хвиль, а тільки його невелику частину.

Якщо б ми розглядали цей діапазон довжин хвиль в спектрі безпосередньо очима, який колір ми б побачили?

Знайдемо спектральний клас HD 124320, порівнюючи її спектр зі спектрами відомих класів. Викличте атлас стандартних спектрів для порівняння, вибравши **Atlas of Standard Spectra** з меню **Load**. Відкриється вікно з вибором атласів, серед яких необхідний нам атлас перший у списку і називається **Main Sequence (Головна послідовність)**. Виберіть його і натисніть **Ok**. Цим самим атлас буде підготовлено до роботи.

В окремому вікні з'являються 13 спектрів атласу, рис.3 (див. дискету, файл Figs\Pic03.gif), але тільки 4 з них можна бачити одночасно. Справа вікно спектрів містить лінійку прокрутки, за допомогою якої можна переглянути усі зірки вибраного атласу. Бачимо, що атлас містить представників усіх класів від найгарячіших до найхолодніших зірок.

Оскільки спектральні класи представляють послідовність зірок різної поверхневої температури, важливо зрозуміти дві речі: 1) різні спектральні класи демонструють різні лінії поглинання; 2) загальна форма континууму змінюється. Лінії поглинання визначаються наявністю чи відсутністю відповідних іонів при відповідній температурі.

Форма континууму задається законами випромінювання абсолютно чорного тіла. Один з цих законів, закон Віна, стверджує, що чим гарячіше чорне тіло, тим менша довжина хвилі, при якій спостерігається найбільша інтенсивність його випромінювання. Математично цей закон має такий вигляд:

$$\lambda_{\max} = 2.9 \cdot 10^7 / T$$

де λ_{\max} – довжина хвилі найбільшої інтенсивності в ангстремах,
T – температура в кельвінах.

Після знайомства з атласом, чи можете ви, аналізуючи континуум, сказати, зірки якого спектрального класу мають найвищу температуру фотосфери? Запишіть цей клас та поясніть свою відповідь. (Пам’ятайте, що на цих графіках зліва 3900 Å, а справа 4500 Å).

Вкажіть наближено спектральний клас, для якого найбільша інтенсивність досягається при 4200 Å ? (на графіку 4200 Å знаходиться приблизно посередині осі абсцис). Якою має бути температура такої зірки?

Тепер використаємо спектри порівняння для класифікації зірки. Два спектри порівняння уже знаходяться у вікні спектрів, один у верхній панелі (O5), другий – у нижній (B0). Спектр невідомої зірки знаходиться в середній панелі. Вікно атласа можна зменшити до іконки.

Якщо спектри порівняння погано узгоджуються з невідомим спектром, ми можемо пересуватися атласом за допомогою кнопки **down**. Продовжуємо це, доки не буде знайдено спектр, який добре співпадає з невідомим. Найкраще повинні співпадати спектри з сильними лініями водню (пізніше буде пояснено, як переконатися, що це лінії водню), і деякі інші особливості спектра. Зірки з сильними лініями водню зібрані навколо спектрального класу A1.

Оскільки в атласі представлені не всі спектральні класи, а також у зв’язку з тим, що класифікацію слід проводити до десятої частини спектрального класу (G2, а не просто G), потрібно провести невелику інтерполяцію. Щоб зробити це, порівняйте відносні інтенсивності ліній поглинання. Наприклад, для нашої невідомої зірки можна сказати, що вона близька до класу A0, але не цілком. Коли на верхній панелі спектр класу A1, на нижній панелі – спектр A5, інтенсивності ліній HD124320 знаходяться десь посередині між цими двома випадками. Таким чином, можна аргументовано говорити про те, що спектральний клас десь близько A3.

Якщо ви хочете провести порівняння спектрів більш кількісно, натисніть кнопку **difference** справа від вікна зі спектром. Після цього нижня панель зміниться і буде містити

графік різниці інтенсивностей спектра у верхній панелі та спектра невідомої зірки. У випадку повного співпадіння різниця буде представляти собою горизонтальну лінію, що проходить посередині нижньої панелі.

Якщо лінія поглинання в спектрі зорі порівняння не така глибока, як така ж лінія у спектрі невідомої зірки, інтенсивність випромінювання у цій лінії у спектрі зорі порівняння вища, ніж у спектрі невідомої зірки і тому різниця між ними більша нуля і на графіку різниці матимемо підвищення. Якщо на верхній панелі спектр A0, а на середній спектр HD124320, ми матимемо невелике підвищення на 3933 Å, яке свідчить про те, що лінія поглинання у невідомої зірки глибша, ніж у зірок спектрального класу A0.

З тієї ж причини, якщо лінія поглинання в спектрі порівняння глибша, ніж у невідомої зірки, графік різниці покаже невелику депресію саме для вказаної лінії. Виберемо спектр порівняння A5. Бачимо, що на 3933 Å різниця показує депресію, яка в свою чергу вказує на те, що лінія поглинання невідомої зірки не така інтенсивна, як у зірки A5. Таким чином, спектральний клас справді лежить між A0 і A5.

Щоб використати панель різниць правильно, просуваємося по Атласу (кнопки **Up** і **Down**) спектрів порівняння доти, доки не знайдемо такий спектр, для якого різниця між ним і спектром невідомої зірки на всіх довжинах хвиль максимально близька до нуля. Щоб ототожнити проміжні спектральні класи, слідкуємо за тими моментами, коли різниці для деяких ліній змінюються від підвищень до депресій, чи навпаки. Останнє зауваження важливе, тому що зі зменшенням температури інтенсивність деяких ліній зростає, в той час як інших – зменшується.

Запишіть вашу оцінку спектрального класу HD124320. Поясніть відповідь. (Наприклад, так: інтенсивності ліній 4340.4 Å і 4104 Å майже точно такі, як у класів A1 чи A5, інтенсивність лінії 3933 Å лежить десь посередині.)

Занесіть свій вибір для HD 124320 і ваші аргументи в комп'ютер, вибравши з меню **Results** пункт **Record**. При цьому відкриється спеціальне вікно, у якому ви вносите свій результат і свої аргументи. Закінчивши записи, натисніть **Ok**. Завжди можна повернутися до своїх записів, вибравши пункт **Review** в цьому ж меню.

Ви використали кілька спектральних ліній для покращення класифікації. А якщо нам необхідна інформація про те, яким елементам належать ці лінії? Для цього вибираємо з меню **Load** пункт **Spectral line table**. З'являється вікно, що містить список спектральних ліній, рис.4. (див. дискету, файл Figs\Pic04.gif). Тепер помістимо курсор у центр деякої лінії в спектрі (наприклад, 4341 Å) і двічі клацнемо лівою кнопкою миші. Поперек екрану з'являється червона лінія, і якщо курсор центрований правильно, подвійна пунктирна лінія у вікні - списку показує, яка це лінія.

Перевірте, що лінія 4341 Å справді належить нейтральному водню, H I. Ідентифікуйте лінію 3933 Å. Запишіть результати.

Спектри часто виглядають як чорно-білі смужки, які показують, як світло зірки розкладається подібно до райдуги, проходячи через дифракційну ґратку чи призму. Ви можете побачити спектри у такому вигляді, встановивши режим **Gray-scale photo** у режимі **Display** пункту меню **Configuration**. Саме так виглядають спектри, отримані фотографічними методами. Щоб одночасно побачити графічне та фотографічне представлення спектра, виберіть **Combination**. На центральній панелі при цьому буде фотографічне представлення спектра HD124320, а на нижній панелі – графік.

Як відрізнити лінії поглинання на фотографічному представленні спектра? А на графіку?

Класифікацію першого спектра закінчено. Викличемо наступний невідомий спектр, вибравши **Load spectra** і наступну обов’язкову зірку. Повторно заносити атлас не потрібно. Повторюючи щойно виконану роботу і використовуючи для довідок Додаток I, який містить опис спектральних класів, класифікуємо інші 24 зірки списку. Використовуємо комп’ютер для фіксації результатів і аргументів відносно класифікації. Треба також зробити копію своїх результатів на папері, використовуючи бланк, наведений далі, або надрукувавши результати, зібрані комп’ютером (меню **Print**, вибір **Results**).

Можна значно швидше рухатись атласом, якщо не користуватися кнопками **up** і **down**, а двічі клацнути мишею на спектрі, який ми хочемо вставити у верхню панель вікна спектрів. Фон вибраного з атласу спектра стає голубим і цим показується, який же спектр вибрано. Можна використати можливість **Zoom In** у вікні класифікації. При цьому спектр подається у детальному вигляді, а кнопки зі стрілками служать для пересування по спектру. Кнопка **Reset** повертає нас до повного вигляду спектра. Коли двічі клацнути лівою кнопкою миші на спектральній лінії у Списку спектральних ліній, на спектрі відразу з’являється червона вертикальна риска, що вказує на лінію.

У цьому ж положенні подвійне клацання правою кнопкою миші приводить до появи вікна з додатковою інформацією щодо потрібної спектральної лінії. В багатьох випадках різні іони відповідають за різні лінії на тій же, або майже тій же довжині хвилі. При цьому не зрозуміло, який же конкретно іон відповідає за лінію. Наприклад Ca II і H I мають лінії близько 3970 Å. Але лінії H I сильніші у зірках A, в той час, як лінії Ca II сильніші у G і K зірках. Таким чином, додаткова інформація допоможе вирішити, який же іон відповідає за лінію, якщо у вас уже є ідеї з приводу приблизного значення спектрального класу.

Наведену нижче таблицю потрібно підготувати на окремому аркуші паперу, заповнити та здати викладачу. Ось список обов’язкових зірок (перша вже у таблиці):

HD37767, HD35619, HD23733, O1015, HD24189, HD107399,
 HD240344, HD17647, BD+63137, HD66171, HZ948, HD35215,
 Feige 40, Feige 41, HD6111, HD23863, HD221741, HD242936,
 HD5351, SAO81292, HD27685, HD21619, HD23511, HD158659.

Практична спектральна класифікація

Зірка	Спектральний клас	Ваші аргументи “за”
HD124320	A3	Лінії H β дуже сильні, лінії CaII між A0 і A5

Характерні лінії поглинання спектральних класів

Для кожного з 13 спектрів порівняння, використаних у вікні класифікації, скористайтеся списком ліній та вікном ідентифікації, щоб виконати ототожнення найхарактерніших спектральних ліній.

Заповніть таблицю за наведеним зразком.

Характерні особливості спектральних класів

Спектральний клас	Довжини хвиль найхарактерніших ліній	Іони або атоми, що за ці лінії відповідають

II. Отримання спектра на модельному телескопі та модельному цифровому спектрометрі та його дослідження

Мета

Навчитися отримувати спектри зірок і використовувати їх для класифікації спектрів. Використовуючи метод спектроскопічних паралаксів, визначити відстані до вибраних зірок головної послідовності.

Метод

Використайте модельний телескоп, обладнаний спектрографом з лічбою фотонів для отримання спектра невідомої зірки. Збережіть цей спектр і використовуючи методи, описані у попередній частині роботи, визначте спектральний клас зірки. Далі, маючи таблицю абсолютних зоряних величин зірок в залежності від їх спектрального класу і значення видимої зоряної величини, обчисліть відстань у парсеках.

Процедура

Прикрийте вікно класифікації, вибравши пункт меню **Back**. Потім виберіть **Run**, у якому, в свою чергу - **Take spectra**. Через деякий час ви потрапите у панель управління модельним телескопом. У цьому вікні досить реально відображено головні функції оператора сучасного телескопа і, працюючи з програмою, можна отримати деякі уявлення про роботу на справжніх великих інструментах, необхідний для збору та аналізу спектроскопічної інформації, рис.5. (Див. дискету, файл Figs\Pic05.gif)

Вікно має три головні частини – органи керування телескопом (зліва), поле зору телегіда – приєднаної до телескопа телекамери (в центрі), кнопка керування спектрометром (справа). Зверніть увагу, що купол (**dome**) закритий, а годинниковий механізм (**tracking**) вимкнений.

Спочатку відкрийте купол, натиснувши на кнопку **dome**. У полі зору (2.5°) з'явиться поле зірок, так, як воно видиме через оптику шукача. Це зручно при попередній установці телескопа і ототожненні об'єктів у полі зору. Невеликий червоний квадрат біля центра поля зору - це поле зору телекамери спектрометра. Переключитись на спектрометр можна кнопкою **Monitor**.

Перед початком спостережень на спектрометрі треба ввімкнути годинниковий механізм (**tracking**). Тепер зірки залишатимуться у полі зору телескопа і не будуть “втікати” з нього внаслідок добового руху неба.

Виберіть зірку у полі зору телескопа і, використовуючи кнопки **N, S, E, W**, перемістіть телескоп так, щоб зірка виявилась у центрі поля зору. Натискати кнопки треба за допомогою миші. Більше того, телескоп рухається тільки тоді, коли одна з цих кнопок натиснута. Червоні кружечки біля кнопок вказують напрямок, у якому відбувається рух. Якщо телескоп рухається надто повільно, швидкість можна змінити кнопкою **Slew rate**.

Коли зірка виявиться приблизно в центрі поля зору, ми можемо перейти до роботи зі спектрометром, натиснувши кнопку **monitor**. При цьому маємо поле зору спектрометра $15'$. В цьому положенні важко ототожнювати об'єкти, але вся робота зі спектрометром повинна відбуватися лише в цьому режимі.

Зірка, вимірювання якої проводяться, повинна бути біля центра поля зору. Дві червоні вертикальні лінії позначають положення щілини спектрометра. Звичайно, якщо мова йде про спектр зірки, то треба, щоб її зображення було точно на щілині. У іншому випадку, ми отримаємо лише спектр фону неба. Уважно розташуйте зірку посередині щілини. Як і на справжньому телескопі, цей процес потребує деякого терпіння та досвіду. Тепер запишіть координати об'єкта, тобто його пряме піднесення та схилення, і видиму зоряну величину, щоб у випадку необхідності можна було знову до нього повернутися.

Тепер ви готові отримати спектр об'єкта. Натискайте кнопку **take reading**. Відкривається вікно спектрометра, рис.6. (див. дискету, файл Fig\Pic06.gif). Гратка спектрометра встановлена так, щоб знімати спектр для ділянки довжин хвиль 3900 Å - 4500 Å. У цій же ділянці записані спектри зірок порівняння. На графіку відкладається залежність інтенсивності спектра від довжини хвилі.

Щоб почати роботу натисніть кнопку **start/resume count**. Спектрометр починає процес збору фотонів, що приходять від зірки (і трохи від фону неба). Процес цілком випадковий і ми можемо бачити як фотони, подібно до крапель дощу, падають у свої місця на спектрі, який, таким чином, поступово формується. Після перших секунд спектр зовсім випадковий (**шумовий**), особливо якщо зірка слабка. (Додаток 2 містить додаткові пояснення щодо відношення сигнал/шум). За деякий час спектр починає набувати своєї форми. Чим більше зібрано фотонів, тим більш сформований спектр, тим краще можна розрізнити на ньому всі його тонкі деталі. Величина ординати автоматично масштабується так, щоб максимальне значення спектра мало величину 1.0. Таким чином, спектр завжди поміститься у відведеному для нього вікні. Щоб закінчити збір спектра, натисніть кнопку **stop count**. Комп'ютер сполучить отримані точки спектра суцільними лініями і ми матимемо спектр в звичному для нас вигляді графіка залежності інтенсивності світла від довжини хвилі.

З отриманим спектром можна робити все те, що можна робити, класифікуючи зоряні спектри. Можна міряти інтенсивності та довжини хвиль, поставивши курсор миші у відповідну точку та натиснувши ліву кнопку. Стрілка при цьому змінюється на хрест і у нижній справа зоні екрана з'являється відповідна інформація. Якщо, не відпускаючи кнопку миші, рухати нею, то інформація змінюється у відповідності до того, що є у спектрі.

Спектрометр також дозволяє отримати таку інформацію:

Object - назва об'єкта, що вивчається.

Apparent magnitude - видима величина об'єкта у смузі V.

Photon Count - загальне число зібраних фотонів, середнє їх число на піксель, чи на одиницю довжин хвиль.

Integration (seconds) - тривалість інтервалу збирання фотонів, або час експозиції.

Wavelength (Å) - довжина хвилі, на якій стоїть курсор.

Intensity - відносна, або нормована інтенсивність спектра в позиції курсора.

Signal to Noise Ratio (S/N) - міра якості отриманих даних. Найкраще, щоб це відношення було не менше 100, однак, отримання такого великого S/N може зайняти досить довгий

час, особливо на малих телескопах. За допомогою кнопки **start/resume count** ви можете зупиняти процес відліку фотонів, а потім знову його продовжувати.

Тепер збережемо отриманий спектр, щоб класифікувати його у вікні класифікації. Виберіть пункт меню **save**. З’являється вікно, у якому вас просять дати щойно отриманому спектру номер. Ваш спектр буде розміщено у файлі, ім’я якого сформується із щойно введеного Вами числа та імені, під яким ви зайшли у програму. Таким чином ніхто не зможе скористатися інформацією, отриманою Вами.

Запишіть цю назву файла і натисніть Ok, щоб зберегти спектр.

Поверніться до телескопа, вибравши пункт меню **Return**. Візьміть іншу зірку і повторіть роботу для неї. Не забудьте про відношення сигнал/шум у ваших спектрах.

Збережіть отримані результати і запишіть координати та зоряну величину цієї зірки.

Закінчивши отримувати спектри, поверніться до вікна класифікації. Занесіть Атлас спектрів порівняння, якщо він ще не занесений. Щоб побачити щойно отримані спектри, виберіть з пункту меню **Load** послідовно можливості **Spectrum, Saved spectra**. При цьому з’явиться список ваших спектрів, з якого вибираєте потрібний. Процедура класифікації вже була повністю описана. Проведіть класифікацію усіх отриманих спектрів.

Запишіть результати у комп’ютерну форму (**Save, Results**). Крім вашої інформації, комп’ютер вимагає назву об’єкта та його зоряну величину, котру можна знайти з загального числа фотонів, зібраних спектрометром. Результати можна надрукувати (**Print, Results**). Запишіть свої результати також і у нижченаведену таблицю.

Спектральні класи невідомих зірок

Номер об’єкта	Назва об’єкта	Спектральний клас	Ваші аргументи

Оскільки між спектральним класом та абсолютною зоряною величиною існує певний зв’язок, маючи видиму зоряну величину та спектральний клас, ми можемо обчислити відстань до зірки, принаймні, для зірок головної послідовності.

Для цього користуються модулем відстані,

$$\log D = \frac{m - M + 5}{5},$$

тут m, M - видима та абсолютна зоряні величини, D - відстань, виражена у парсеках.

У Додатку 3 наведено таблицю залежності абсолютної зоряної величини від спектрального класу. Використайте цю інформацію та знайдіть відстані до зірок, спектри яких ви отримали, заповніть таблицю згідно зразка.

Відстані до зірок головної послідовності

Зірка	Спектральний клас	Абсолютна величина, M	Видима величина, m	Відстань, pc

III. Вивчення еквівалентних ширин спектральних ліній та отримання залежності еквівалентної ширини від класу світності

Матеріал, викладений у цій частині роботи має пошуковий характер і розрахований на те, що студент вже має досить досвіду, щоб самотужки дослідити не пояснені можливості програми і на цій основі виконати решту роботи. Однак, далі наведено короткий план цієї частини. Конкретна реалізація повністю повинна проводитись самим студентом.

План

Виясніть з літератури, чому спектральні лінії чутливі до електронної густини в області, де вони утворюються. [6]. Виясніть, яке відношення це має до класу світності зірки. Виберіть з літератури три-чотири таких лінії, які повинні лежати у діапазоні 390 – 450 нм.

Ознайомтесь за допомогою екранів допомоги (**Help**) з тим, як за допомогою програми можна знаходити еквівалентні ширини ліній поглинання в спектрах зірок.

Ознайомтесь з тим, як у програмі реалізована робота з іншими Атласами, не тільки з тим, який призначений для аналізу зірок головної послідовності.

Виберіть (після дозволу викладача) інший програмний список зірок. Можливостей для вибору тут досить багато. Проведіть дослідження вказаного викладачем списку зірок, класифікуючи спектри та фіксуючи еквівалентні ширини попередньо вибраних ліній.

Побудуйте графік залежності еквівалентної ширини вибраних ліній від знайденого вами класу світності зірки. Прокоментуйте результат, навівши аргументи, що впливають з вашої роботи. Для більш точного розуміння суті роботи, бажано ознайомитись з роботою [7].