Головна Астрономічна Обсерваторія НАН України Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Методичний посібник до курсу позагалактичної астрономії для студентів 4, 5 курсів фізичного факультету спеціальності «астрономія»

Обробка спектрів зір та позагалактичних об'єктів за допомогою програмного забезпечення VOSpec

Чеснок Н. Г.

Київ, 2010

УДК 524.7

Чеснок Н. Г. Обробка спектрів зір та позагалактичних об'єктів за допомогою програмного забезпечення VOSpec / Методичний посібник К.: BAITE. – 44 с.

У методичному посібнику подано матеріали щодо програмного забезпечення VOSpec, яке дозволяє зручно та ефективно працювати зі спектрами астрофізичних об'єктів у широкому діапазоні довжин хвиль. На прикладі роботи зі спектрами галактик Сейферта NGC 7469 та NGC 5548 розроблено практичні завдання для оволодіння основними навичками роботи з пакетом VOSpec.

Методичний посібник буде корисний студентам фізикоматематичних спеціальностей та всім, хто займається спектральними дослідженнями.

Рецензенти:

Івченко Василь Миколайович, д.ф.-м.н., проф., завідувач кафедри астрономії та фізики космосу фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Еліїв Андрій Андрійович, к.ф.-м.н., м.н.с. лабораторії астроінформатики ГАО НАН України.

Затверджено на засіданні Вченої Ради Головної Астрономічної Обсерваторії НАН України 1 жовтня 2009 р. (протокол № 10)

УДК 524.7

© Чеснок Н. Г., 2010.

1. Вступ.

На сьогодні існує багато програмного забезпечення для роботи зі спектрами. Однак, існує потреба в створенні нового програмного забезпечення, яке забезпечувало би можливість порівнювати спектри астрофізичних об'єктів, отриманих на різних інструментах. Міжнародний альянс віртуальних обсерваторій (МАВО) спільно із Європейським Космічним Агентством (ЄКА) доклали великих зусиль до розробки Простого Спектрального Протоколу Доступу (ПСПД), чим було вирішено частину цієї проблеми. Спершу, головною метою розробки ПСПД було забезпечення доступу до даних Інфрачервоної Космічної Обсерваторії (ISO) засобами віртуальних обсерваторій (VO).

Науковий Архів ESAy прийняв рішення створити інструмент для обробки VO-сумісних спектрів, щоб працювати з одиницями вимірювання потоку та довжин хвиль простим та ефективним шляхом.

VOSpec – графічна програма для роботи зі спектрами в он-лайн режимі. За її допомогою можливо працювати з архівними спектрами космічних об'єктів, отриманими за допомогою найбільш потужних телескопів та космічних місій. Програма дозволяє працювати з власними спектрами, порівнювати та об'єднувати їх з доступними архівними спектрами.

Наведемо коротко декілька найбільш вагомих переваг роботи з пакетом VOSpec.

1. Зручний графічний інтерфейс програми. Протягом 4-5 годин можна оволодіти основними навичками роботи.

2. Універсальність програми. Одночасно і за допомогою лише одного робочого вікна можна працювати з даними багатьох космічних місій в широкому діапазоні електромагнітного спектру.

3. Існує можливість при потребі додаткового завантажувати зображення об'єкта за рахунок зв'язку з програмами для роботи із зображеннями, наприклад, Aladin, Astroscope, VOQuest, тощо.

4. Широка база даних.

5. Можливість застосувати стандартні теоретичні моделі для полегшення фізичного обґрунтування експериментальних даних.

6. Проста інсталяція програми, декілька варіантів її установки.

7. Можливість роботи під операційними системами Linux та Windows.

Виходячи з вищесказаного, стає зрозумілим, що дана програма буде дуже корисною для студентів спеціальності "астрономія", які можуть вчитися працювати зі спектрами та зображеннями астрономічних об'єктів не виходячи з аудиторії. Приклади робіт, виконаних за допомогою VOSpec можна знайти в статтях [1,5].

Методичний посібник "Обробка спектрів зір та позагалактичних об'єктів за допомогою програмного забезпечення VOSpec" складається з двох розділів У першому подається опис пакету VOSpec. У другому розділі розглядаються практичні завдання з обробки спектрів галактик Сейферта NGC 7469 та NGC 5548, які допоможуть студентам детально ознайомитися з програмою VOSpec.

Розробники VOSpec.

Christophe Arviset – зав. відділом SAT та VO. Pedro Osuna – технічний координатор SAT та VO. Jesus Salgado, Iñaki Ortiz, Isa Barbarisi, Aurélien Stébé, Andrea Laruelo – розробники VO.

Автор висловлює подяку за постановку задачі, допомогу та керівництвом проектом доц. Вавиловій Ірині Борисівні, зав. лабораторії астроінформатики ГАО НАН України, за співпрацю в перекладі програмного забезпечення VOSpec Вахромеєвій Марії, магістру фізико-математичного факультету НТУУ «КПІ». Рецензентам за доцільні зауваження та цінні рекомендації д.ф.-м.н., проф. Івченку Василю Миколайовичу, зав. каф. астрономії та фізики космосу фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, к.ф.-м.н., Елиєву Андрію Андрійовичу, м.н.с. лабораторії астроінформатики ГАО НАН України.

2. Програмне забезпечення VOSpec. Доступ до VOSpec-у.

Програма VOSpec написана на об'єктно-орієнтованій мові програмування Java. Для роботи з VOSpec потрібно скористатися посиланням:

http://www.sciops.esa.int/index.php?project=ESAVO&page=vospec. На цій сторінці розміщено кілька варіантів запуску VOSpec, наприклад: 1. Через стандартну програму JAVA.

2. Найбільш простим є 2-й варіант (through WebStart). Вибрати «открыть приложение с помощью Java».





рис. 1.1 головне вікно програми VOSpec. Вказані номери відповідають пунктам, де описано відповідні опції в тексті. Загальний інтерфейс програми представлено на рис. 1.1. Нижче наведено основні елементи робочого вікна та опис їх функцій.

1. **Target Search** – область, в якій вказується об'єкт пошуку. Введіть назву об'єкту, який ви шукаєте. При натисканні кнопки «Query», VOSpec з'єднується з SIMBAD веб-сервісом, та за назвою знаходить об'єкт пошуку.

Right Ascension in decimal degrees – пряме сходження в градусах.
 Declination in decimal degrees – схилення в градусах.

(2, 3 є альтернативним шляхом пошуку спектрів потрібного об'єкта) 4. **Size in decimal degrees** – розмір області в градусах, Region of Interest (ROI).

Положення області (ROI) визначається прямим сходженням і схиленням центру області в градусах, за системою координат ICRS.

Кутовий розмір області задається в градусах. Область може бути визначена, використовуючи одне або два задані значення. Якщо задане тільки одне значення, воно застосовується до обох координат. Якщо задано два значення, то перше відповідає кутовій ширині області в градусах вздовж осі прямого сходження, друге – кутова ширина в градусах вздовж осі схилення.

Розмір зображення за умовчанням визначається програмою і може бути значенням, яке відповідає даному зображенню чи набору даних, до яких потрібно отримати доступ, або для об'єкта в даному положенні.

Ці параметри визначають єдину, прямокутну область на небі, що має визначені кутові параметри в прямому сходженні і схиленні, використовуючи декартову проекцію¹.

5. Fitting algorithm window – вікно алгоритмів апроксимації.



Ця піктограма дає доступ до різних утиліт для апроксимації спектрів. Всі вони можуть бути запущеними наступним чином: в головному вікні

VOSpec-ку виділяється область в якій потрібно виконати алгоритм (потрібно протягнути з натиснутою правою кнопкою миші по

¹ Зауваження: використання декартової проекції для визначення області ROI не має відношення до проекції, яку ми обираємо для будь-яких фактично побудованих зображень.

частині спектра, до якої необхідно застосувати алгоритм). Далі натиснути кнопку «Generate» (рис. 1.2).

Polynomial	Black Body	Gaussian	Lorentzian	pVoight	
Polynomi	al order 2				
I]
Generat	e				
	_				

рис. 1.2 вікно алгоритмів апроксимації.

Види алгоритмів апроксимації:

апроксимація поліномом;

- апроксимація спектром випромінювання абсолютно чорного тіла;

апроксимація функціями Гауса, Лоренца, Фойхта.

Апроксимація поліномом n-степені обраної частини спектра здійснюється відносно многочлена n-степені використовуючи метод найменших квадратів (рис. 1.3).



рис. 1.3 апроксимація поліномом.

обраної Апроксимація частини спектра ЛО спектра випромінювання абсолютно чорного тіла здійснюється З використанням алгоритму мінімізації у-квадрата Левенберга-Маккарта. При апроксимації обраної частини спектра за допомогою функцій Гауса, Лоренца, Фойхта також використовується алгоритм мінімізації у-квадрата Левенберга-Маккарта (рис. 1.4).



рис. 1.4 апроксимація Гаусіаною (світло чорна лінія), Лоренціаною (сіра лінія) та функцією Фойхта (чорна лінія).

У вікні апроксимації можна перевірити отримані параметри функції та відповідні значення *χ*-квадратів:

$$\chi^{2} = \sum_{i=1}^{N} \frac{\left(O_{i} - E_{i}\right)^{2}}{E_{i}},$$
(1.1)

де O_i – значення потоку в *i*-му каналі, отримане зі спостережень; E_i – значення потоку, яке очікується; N – кількість каналів.

6. **Wavelength unit** – одиниці вимірювання, в яких задано довжину хвилі.

В цьому вікні містяться деякі стандартні одиниці вимірювання довжини хвилі/частоти, які використовуються для відображення і співставлення в широкому діапазоні хвиль/частот. Рекомендована одиниця вимірювання довжини хвилі (обрана довільно), до якої приводяться всі одиниці, використовуючи алгоритм аналізу розмірностей, – це ангстрем.

7. Flux unit – одиниця вимірювання потоку.

В цьому вікні містяться деякі стандартні одиниці вимірювання потоку, які використовуються для відображення і співставлення в

широкому діапазоні хвиль/частот. Рекомендована одиниця вимірювання потоку (обрана довільно), до якої приводяться всі одиниці, використовуючи алгоритм аналізу розмірності, – це Янський.

8. Rest-frame correction – врахування червоного зміщення.

Врахування червоного зміщення, для перетворення спектру до вигляду, який би він мав в нерухомій відносно Землі системі відліку. 9. Wavelength to Velocity Analysis – перетворює довжину хвилі в швидкість.

10. Spectrum color indicator – колір, яким зображується спектр.

Натисканням цієї кнопки здійснюється вибір кольору, яким буде відображено побудований спектр. В вікні графічного відображення спектрів вибраний спектр буде зображено поверх інших спектрів.

11. Plot symbol –вибір стилю побудови графіку (точки, суцільна лінія, тощо).

12. **Spectrum display selection** – галочкою відмічаються спектри, які мають бути відображені на головному вікні спектрів (15) одночасно.

Settings – установки.

Вибір параметрів графіку: заголовок, позначення осей, кольори... Activation of Spectrum Display selection – Активізує відображення за вказаними параметрами налаштування у вікні «Graphic Mode». Якщо жоден спектр не було обрано користувачем, вони будуть відображені усі. Дія «View» (відображення) не здійснює пере підключення до серверу, для поновлення інформації.

Clear cache – очистити кеш.

Процедура кешування виконується для скорочення часу завантаження, коли до спектра звертаються декілька разів. При певних обставинах кеш потрібно очищувати. Активізуйте цю функцію для чистки кеш.

Unzoom button – встановлення масштабу за умовчанням.

13. **Spectrum Selection Box** – вибір спектра для відображення (напроти спектрів, які мають бути зображені ставиться галочка та натискається кнопка «Retrive»).

14. Spectrum Information Display – вікно відображення інформації про спектри.

9

Містить інформацію (обов'язкове поле у відповідності з ПСПД) для доступних спектрів. Натискаючи лівою клавішею миші двічі по рядку, відкривається нове вікно зі всіма доступними даними про спектр. Це опція також дозволяє зберігати спектр в його оригінальному форматі.

15. General Display Window – головне вікно.

Графічне вікно, в якому відображаються спектри. Доступні стандартні функції для графічних вікон, наприклад, зміна масштабу. 16. **Display activation button** – кнопка для остаточної побудови спектру після вибору всіх необхідних параметрів.

17. Analysis Tools – аналітичні інструменти.

Connection to Registry – підключення до регістру.

Робота з віртуальними базами даних

Після натискання кнопки «Query» VOSpec підключається до будь-якої із доступних повних реєстрів, виконує інформаційний запит в рамках ПСПД. Перелік реєстрів, з якими зв'язується VOSpec, записано в файлі конфігурацій. При натисканні кнопки «Query» з'являється вікно «Server Selector» (рис. 1.5).

<u>ی</u>	
Query by Service	Query by params
Green services support params selected	Tree
LServer Selector	Query
 SSA Services 	- TARGET.NAME(3c273)
— 🗹 Infrared Space Observatory Simple Spe	Simple Query POS(187.2779156,2.0523883)
— 🗾 Hubble Space Telescope Faint Object Sp	SIZE(0.1)
— 🕑 HyperLeda FITS Archive Simple Spectru	 Advanced Query Service Specific Query
- 🖌 Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (Infrared Space Observatory Simple Spectrum Data Access Hubble Space Telescope Spectra
— 🗹 Hubble Space Telescope Spectra	- Hopkins Ultraviolet Telescope
— 🗹 Hopkins Ultraviolet Telescope	 HyperLeda FITS Archive Simple Spectrum Data Access(HFA SS Hubble Space Telescope Faint Object Spectrograph
— 🔲 Wisconsin Ultraviolet Photo-Polarimeter 🔤	- Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (Simple Spectrum Data
- Extreme Ultraviolet Explorer Merged Sp	
- The GIRAFFE Archive (Science Ready Da	
– 🔲 HiG - Simple Spectral Access to HI (21cn	
– 🔲 Compton-thick Seyfert 2s XMM-Newton,	
- CIELO-AGN XMM-Newton/RGS spectra	
- 🔲 OMC: The INTEGRAL Optical Monitoring C	
– 🔲 Wisconsin Halfwave Spectropolarimeter	
— 🗹 HyperLeda FITS Archive Simple Spectru	
- ELODIE archive	
- SSA Service for Optical Spectroscopy in	
Photometry of Class 0 sources	
	Insert Param Value
Include local data Select All	Point mouse on param label to see description
http://ida.esac.esa.int:8080/aio/jsp/siap.jsp?imageTy	
http://ida.esac.esa.int:8080/aio/jsp/siap.jsp?imageTy	TARGET.NAME p cyg Add
http://archive.eso.org/bin/fos_ssap.pl?&POS=187.27	
http://da.esac.esa.int:8080/aio/isp/siap.isp?imageTy	Query Reset

рис. 1.5 вікно «Server Selector».

Server Selector – вибір сервера. У цьому вікні розміщено перелік зарезервованих послуг, сумісних з ПСПД, наприклад Hubble Space Telescope Spectra, Hubble Space Telescope Faint Object Spectrograph та інші. Користувач обирає ті послуги, які йому потрібні і також має можливість формувати запити з параметрами. Як тільки обирається один параметр, всі послуги, що його підтримують позначаються зеленим кольором. Позначення послуги кольором ще не означає, що вона є обраною, потрібні послуги потрібно відмітити мишею.

Коли параметр зафіксований, його можна помістити в зв'язану область справа.

Якщо обираються декілька параметрів, то зеленим виділяються тільки ті послуги, що підтримуються цими параметрами одночасно. У випадку, коли потрібно додати локальні дані до існуючих даних з інших архівів, це можна зробити, натискаючи «Include Local Data». Щоб створювати VO-сумісні дані, потрібно користуватися вікном «SSAP VOTable Creator» (рис. 1.6).

Local D	Jata			
ocal Data B	Editor 3.0	1.72		
[Add New Spectrum	Modify	Delete	Delete All
-file:C:\D	ocuments and Settings\jg	onzale\My Docume	ents\test_files\Ne	w Folder\MRK_957.fits
	Add from SSAP V	OTable	Save in SSAP V	OTable

рис. 1.6 вікно «SSAP VOTable Creator».

За допомогою цього вікна можна перетворювати формати спектральних даних на VO-сумісні. Потрібно задати параметри для перетворення таким чином, як показано на (рис.1.7).

	Dieplay Data
	hu Dasumaantakaat filasiklasu FaldadkiDi (067 fila
FILE UKL	
Туре	spectrum/fits 🔹
Description	lgs\jgonzale\My Documents\test_files\New Folder\MRK_957.fits
Spectral Coordi	nate
Column	LAMBDA
⊢Edit if differen	t from preselected or use ComboBox for predefined ones
Unit String	Micron Scaleg 1E-6 Dimeg L
-Flux Coordinate	7
Column	FLUX_SPB Predefined Units W/cm^2/um
Edit if differen	t from preselected or use ComboBox for predefined ones
Unit String	Jy Scaleg 1E-26 Dimeg MT-2
	Refresh Cancel Accept

рис. 1.7 вікно «Spectrum Display Data».

Spectrum Description – характеристики файлу зі спектром. VOX:Image_Title – обов'язковий вихідний параметр ПСПД. Наприклад: «ISO SWS02 Spectrum Target: M51» - космічна інфрачервона обсерваторія, спектр об'єкту SWS02 M51.

File URL – місцезнаходження спектру, який необхідно перетворити в VO-сумісний.

Туре – тип файлу зі спектром, який необхідно перетворити в VOсумісний. Можна завантажувати FITS-файли, VO-файли та проміжний тип, що називається «Photometry» - фотометрія.

Wavelength column name – назва колонки в якій міститься назва одиниці вимірювання довжини хвилі.

Flux column name – назва колонки в якій міститься назва одиниці вимірювання потіку.

Predefined Units – попередні одиниці вимірювання. Параметри для переходу до інших одиниць вимірювання Dimeq та Scaleq. У VOSpec-у обчислено параметри Dimeq та Scaleq для ряду стандартних одиниць вимірювання. Ці так звані попередні одиниці вимірювання, з'являються в двох полях, для спектральної вісі, та для вісі потоку. Вони заповнюються автоматично. У випадку, якщо одиниці вимірювання спектру, що будується, є нестандартними, у вікні «Edit if different from predefined» їх можна відредагувати.

Потрібно зауважити, що назви одиниць вимірювання, в будь-якому випадку, ніяк не впливатимуть на процес обробки даних, вони потрібні тільки для зручності користувача.

statistics	Mirroring	Tuning	Bisector method	
Ð	quivalent Wid	th	Flux	Wavelet Analysis
Measure mea med Extreme mini	s of central te n ian values mum flux valu	ndenc y Ie	Measures Stand Variar media	of dispersion lard deviation nce an absolute deviation
🔾 max	imum flux val	ue	Result	

Аналітичні інструменти

рис. 1.8 вікно аналітичних інструментів.



Bisector – бісектриса.

За допомогою цього інструменту будується бісектриса спектральної лінії. Побудова бісектриси проводиться

шляхом знаходження середини між двома сторонами спектральної лінії, беручи до уваги кількість заданих значень потоку. Шуми, які

можуть бути присутні у спектральних лініях, призводять до неточностей у розрахунках, їх потрібно усунути. Вирішити цю проблему можна двома шляхами. Перший – автоматична оцінка бісектриси: VOSpec працює зі згладженою версією спектральної лінії. Метод згладжування залежить від вигляду конкретної спектральної лінії. Для вибору цієї опції, потрібно натиснути «Previous automated line smoothing» - попереднє автоматичне згладжування лінії. Другий – якщо не було виконано попереднє автоматичне згладжування, алгоритм побудови бісектриси орієнтуватиметься на шаблонну спектральну лінію. Ця опція дозволяє виконувати будь-яке попереднє згладжування «вручну».

Параметри бісектриси. Викривлення спектральної лінії характеризується двома параметрами:

- Швидкість нахилу (амплітуда): вимірювання різниці швидкості в бісектрисі на двох рівнях потоку. Розглядаються рівні вершини та континуума.

- Кривина бісектриси. Визначається різницею між проміжками бісектриси (значення на вершині та в середині бісектриси). Три точки на бісектрисі визначають швидкість викривлення (рис. 1.9).



рис. 2.9 параметри бісектриси. **Equivalent Width** – еквівалента ширина.



Equivalent width – еквівалента ширина. VOSpec дозволяє інтерактивно обчислювати

еквіваленту ширину даної спектральної лінії. Формула, за якою проводиться обчислення:

$$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda, \qquad (1.2)$$

де F_c – значення потоку в континуумі, F_{λ} – значення спектрального потоку (рис. 2.10).





Statistics – статистика.

Вікно статистики дозволяє обчислювати деякі статистичні значення спектра чи апроксимації. Наступна формула використовується VOSpec-ком для обчислення кожного статистичного значення – оцінка основної тенденції. Ідея полягає в «середньому» або «характерному» значенні даних. Середнє значення:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{N} x_i.$$
 (1.3)

Потрібно зауважити, що це значення може бути суттєво відрізнятись від дійсного за рахунок шумів.

Медіана визначається відбором даних від найменших до найбільших значень і визначає одне серединне. У випадку парного числа набору значень, медіана визначається середнім поміж двома серединними значеннями.

На значення медіани шуми впливають набагато менше. Саме тому медіана часто використовується, коли є декілька екстремумів, котрі могли би сильно впливати на середнє значення та хибно його змінювати.

Визначення дисперсії. Дисперсія характеризує розкид або змінність даних.

$$\sigma^{2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{N} (x_{i} - \overline{x})^{2}.$$
(1.4)

Стандартне відхилення – квадратний корінь дисперсії.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$
(1.5)

Медіана абсолютного відхилення – дуже точна оцінка, має незначну залежність від шумів.

$$mad=median_i(|x_i-median_j(x_j)|).$$
 (1.6)

Range – діапазон, різниця між найбільшим та найменшим значеннями потоку.

Tuning – редагування. У вікні редагування знаходяться інструменти для простих операцій зі спектрами.

Multivalued Spectra Averaging – Усереднення значення потоку на кожному значенні довжини хвилі (рис. 1.11, 1.12).



рис. 1.11 спектр, що підлягає усередненню.



рис. 1.12 усереднений спектр.

Re-binning – перебінування. Збільшує або зменшує роздільну здатність спектра.

Reject zero and negative values – усунення нульових та негативних значень (рис. 1.13).



рис. 1.13 а – спектр з нульовими значеннями, б – чистий спектр.



Mirroring – простий метод, який використовується для перевірки на симетричність даної ділянки спектру. Будується дзеркальне відображення спектра

або його частини відносно заданої вісі.

Лінійне віддзеркалення.

Вісь обирається автоматично (як правило, точка піку) і відносне неї будується дзеркальне відображення, яке виділяється іншим кольором (рис. 2.14).



рис. 1.14 лінійне віддзеркалення.

- Спектральне віддзеркалення.

За допомогою цієї опції будується дзеркальне відображення даного спектра (частини спектра) відносно вісі, заданої користувачем.

Якщо ніяка вісь не задана, інструмент сам обирає точку – середину хвильового діапазону даного спектра (рис. 1.15).



рис. 1.15 Спектральне віддзеркалення.



Flux – потік.

Піктограма Flux запускає утиліту «лінійний потік» та «інтегральний потік». Спочатку необхідно вибрати

частину спектра, значення потоку в якій цікавить користувача (протягнути з натиснутою правою кнопкою миші по області у головному вікні VOSpec-ка) далі натиснути кнопку з піктограмою **Flux**.

- Лінійний потік. Визначається потік між спектральною лінією та лінією континууму. Перед обчисленням потоку потрібно виділити спектральну лінію у головному вікні (рис. 1.16).



рис. 1.16 обчислення лінійного потоку.

- Інтегральний потік. Оцінка площі під ділянкою спектра, при чисельному обчисленні інтеграла використовується метод трапецій. Перед обчисленням потоку потрібно виділити спектральну область у головному вікні (рис. 2.17).



рис. 1.17 обчислення інтегрального потоку. Filters.



Методи для фільтрування або усуненні шумів у VOSpec (рис. 1.18).

- Фільтри для усереднення (Averaging Filters):
- -- Фільтр середнього значення (Mean)

Filters – фільтри.

- -- Медіанний фільтр (Median)
- Ядерні фільтри:
- -- Ядерний фільтр відносно константи (Kernel Filters)
- -- Адаптивний ядерний фільтр (Adaptive Kernel Filters)
- Імпульсні фільтри (Wavelet Filter)

					<u> </u>
Averaging Filters	Kernel Filters	Adaptive	Kernel Filters	Wavelet Filter	
Points Filters] [Intervals Filters		
Mean			🔾 Mean		
O Median			🔾 Median		
Numbe	r of points –		-Number of	intervals	
	3		10	000	
		JL			
	Fi	ilter			

рис. 1.18 фільтри.

Для обох видів фільтрів для усереднення існує дві опції:

- Визначення значення потоку в даній точці за значеннями потоку в сусідніх точках (Points Filters). Цей фільтр для усереднення замінює кожне значення потоку даного спектра на середнє/медіанне значення, між N наступними і N попередніми суміжними значеннями. N – задається користувачем.

- Визначення значення потоку в даному інтервалі за значеннями потоку в сусідніх підінтервалах. Ця опція повертає вихідний спектр, що визначається як N + 1 рівномірно розподілених значень довжини хвилі (в інтервалі від λ_{\min} до λ_{\max}):

$$\lambda_{\min} + i \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{N}, \quad i = 0, \dots, N, \tag{1.7}$$

де *N*-задане число підінтервалів.

Значення потоку вихідного спектра відповідні цим значенням довжин хвиль – це середнє/медіанне значення всіх значень заданого потоку, що лежать в межах наступного інтервалу довжин хвиль:

$$\lambda_{\min} + (i - 0.5) \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{N}, \ \lambda_{\min} + (i + 0.5) \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{N}$$
(1.8)

Ядерні фільтри.

Ці фільтри замінюють кожне значення потоку на зважене середнє суміжних значень:

$$y_j = \sum_k s_k \cdot w_{j-k}, \qquad (1.9)$$

де *s_k* – даний спектр, визначений в k-тому каналі, *w_{j-k}* – функція ядра. Доступні зважувальні функції:

- Гауса
- Лоренца
- Фойхта

- будь-який спектр: ви можете використати будь-який спектр як ядро. Для цього вам потрібно лише виділити той, котрий ви хочете використати, як фільтр, із переліку спектрів.



рис. 1.19 ядерні фільтри.

Ширина функцій Гауса, Лоренца і Фойхта може бути задана наступними шляхами (рис. 1.19)

може бути представлена двома шляхами:

-- реальна ширина – алгоритм використовує задане користувачем значення ширини без змін;

-- корегований діапазон ширини – якщо користувач не знає дійсне значення ширини, значення введене ним сприймається як поправка до діапазону, де визначається спектр.

Адаптивні фільтри IDS (рис. 1.20).

Це фільтри згортки, ширина зваженої функції в кожному значенні довжини хвилі адаптована до форми спектру. Ширина є більш вузькою в області піків спектру та більш широкою в області континуума.

Ці фільтри використовуються для збереження усіх спектральних ліній, тобто, коли у спектрі присутні лінії, досить широкі та з малою амплітудою. Після використання фільтра вони стають більш явними.



рис. 1.20 адаптивні фільтри IDS Імпульсні фільтри (Wavelet Filter)

Ці фільтри використовують властивості імпульсних перетворень для згладжування спектру.

Технічно це робиться так: коли дані виділено за допомогою wavelet-аналізу, деякі із отриманих wavelet-коефіцієнтів відповідають деталям набору даних. Якщо ці деталі менші за певне критичне значення, ними можна знехтувати, що суттєво не впливатиме на головні особливості набору даних.

В результаті отримуємо чистий спектр, в якому збережені всі первинні особливості.

Доступні wavelet-функції:

- Daubechies
- Coiflets
- Symlets

Використовується поріг Daubechies. Доступні грубі та точні порогові методи.

VOSpeculator



VOСпекулятор – «спектральний калькулятор», це інструмент VOSpec-ку для виконання арифметичних операцій зі спектрами (рис. 2.21) або зі спектрами і константами (рис.2.22).

Для виконання арифметичної операції вам потрібно:

- обрати перший операнд: перетягніть спектр із списку спектрів і помістіть його в операційну область VOCпекулятора;

обрати бажану операцію;

- обрати другий операнд: перетягніть спектр із списку спектрів і помістіть його в операційну область VOCпекулятора або помістити значення константи в поле константи і натиснути кнопку «Add». Введена константа має з'явитися тепер в області операцій;

- натиснути на кнопку «Equals»;

- результуючий спектр з'явиться в спектральному списку VOSpec-ку та в історії треків VOCпекулятора.

- натисніть кнопку «Reset» перед виконанням нових арифметичних операцій.



рис. 1.21 арифметичні операції зі спектрами.

VOSpeculator Drop Spectra here - Operational Area H0172167 1000	- P
+ - × /	

рис. 1.22 арифметичні операції зі спектрами і константами. Примітки:

- Щоб не екстраполювати та не зменшувати роздільну здатність, операції виконуються на кожному значенні довжини хвиль усіх спектральних ліній в межах діапазону, де такі спектри є визначені (рис. 1.23).

- Перерозбиті спектри будуються, використовуючи просту лінійну інтерполяцію, коли це потрібно.

- Якщо спектр визначається роздільними інтервалами арифметичні операції не виконуються.

- При більш ніж одному значенні потоку, що припадає на одне значення довжини хвилі, значення потоку замінюються їхніми середніми значеннями.



Діапазон, де визначені обидва спектри

рис. 1.23 Діапазон виконання арифметичних операцій зі спектрами. Normalization – Нормалізація може бути застосована до теоретичного або каліброваного спектру, щоб адаптувати до реальних та каліброваних потоків.

De_Reddening – усунення почервоніння.

Міжзоряне почервоніння – це явище, пов'язане з міжзоряним електромагнітний поглинанням. спектр джерела коли віл змінює свої первинні випромінювання характеристики. Почервоніння відбувається через нерівномірне розсіяння пилом та матерію міжзоряному середовищі іншою y потоку електромагнітного випромінювання від джерела. Цей процес на короткохвильові фотони переважно впливає спектру. Ha довгохвильові фотони цей процес має менший вплив залишаючи спектроскопічні лінії незмінними (в оптичному діапазоні, світло є «більш червоним»).

Для усунення цього явища у VOSpec-ці можна застосовувати Формули Калзетті, Карделлі-Одоннела або ЛМЦ, залежно від випадку.

Luminosity Viewer – інструмент для обчислення різниці яскравості.

Red-Shift - Врахування червоного зміщення запускається встановленням галочки у відповідному чек-боксі.

SLAP Simple Line Access Protocol – простий лінійний протокол доступу.

VOSpec використовує ПЛПД для доступу до баз спектральних ліній із різних інформаційних баз спектральних ліній з допомогою постійного інтерфейсу (ПЛДП).

Ідентифікація спектральної лінії проводиться VOSpec-ком дуже просто. Відкрийте свій локальний спектр і оберіть область, де ви хочете проаналізувати спектральну лінію. Ви можете обрати цю область натискаючи п'яту кнопку панелі графічного меню. Або ви можете скористатися меню «Operation» і обрати пункт ПЛДП. Проведіть мишею, з натиснутою правою кнопкою, по області, яка вас цікавить, і вона буде виділена жовтим кольором (рис. 1.24). Далі відобразиться вікно з доступними функціями ПЛДП. Оберіть потрібні і натисніть «Select». Коли ви рухатимете мишею вздовж спектру, ви побачите лінії – за курсивом відображається назва лінії та довжина хвилі.



рис. 1.24 Робота ПЛПД.

TSAP VOSpec дозволяє користувачу змінювати масштаб теоретичного спектра, використовуючи реальні спектральні дані для об'єкта, що буде досліджуватись. Навіть якщо існує велика розбіжність між теоретичним і реальним спектрами, їх можна об'єднати в звичайному протоколі доступу, щоб візуалізувати їх на тому ж графіку (рис. 1.25).

Головна відмінність між двома спектрами полягає в наступному:

- модель має особливі задані параметри;
- теоретичний спектр не нормалізований.

Щоб нормалізувати теоретичний спектр натисніть четверту кнопку на панелі графічного меню, потім оберіть точку, де ви бажаєте змінити масштаб моделі.



рис. 1.25 Об'єднання спектрів, а – «до», б - «після».

Сумісність програми VOSpec з іншими програмами.

Сумісність з іншими астрономічним програмами здійснюється за допомогою протоколу PLASTIC.

PLASTIC – це протокол для зв'язку між клієнтськими астрономічними програмами.

VOSpec має такі інтегровані технології, а саме, з: Aladin (інтерактивний комп'ютерний атлас неба, забезпечує візуалізацію цифрових зображень будь-якої ділянки неба, накладання інформації із астрономічних каталогів та швидкий доступ до даних і інформації.), Astroscope, VOQuest та ін.

Щоб відкрити локальні спектри, використовується наступна форма (рис. 2.27):

Name file :			Обзор_
Type :	fits 🔹		
	Submit		

рис. 1.27 форма доступу до локальних спектрів

Ви можете обрати спектр, який відобразиться у вашій локальній директорії натисканням кнопки «Обзор» тільки за умови вибору типу спектра.

Нагадаємо, що зараз VOSpec може працювати лише з FITSфайлами, VO-файлами.

Вибір колонок, що будуть відображені, виконується автоматично, за умовчанням припускається, що це потік та довжина хвилі. VOSpec відобразить вікно з автоматично обраними колонками. Якщо потрібні інші дані для колонок – звичайно є можливість їх змінити (рис. 1.28).

	Spectrum Display Data					
Description	Bc273_MilAndSubMil.fits					
File URL	file:///home/ibarbarisi/IVOA/3c273/spectrum/3c273					
Туре	spectrum/fits 💌					
Spectral Coordin	nate					
Column	FRECUENCY Predefined Units					
Edit if different	from preselected or use ComboBoxfor predefined ones					
Unit String 🖡	Unit String Hz > Scaleq 1E0 Dimeq T-1					
-Flux Coordinate						
Column	FLUX Predefined Units					
Edit if different from preselected or use ComboBox for predefined ones						
Unit String Jy Scaleq 1E-26 Dimeq MT-2						
Refresh Cancel Accept						

рис. 1.28 вікно спектральних даних

3. Практичні завдання.

Робота зі спектрами в VOSpec на прикладі галактик Сейферта NGC 7469 та NGC 5548.

Отримання спектрів.

1. Відкрити VOSpec.

2. У головному вікні програми в стрічці Target набрати NGC 7469 та в стрічці Size – 0.1 (розмір області в градусах).

3. Натиснути «Query». З'явиться вікно «Server Selector».

4. У ньому вибрати сервер «Hubble Space Telescope Faint Object» та поставити напроти нього галочку.

5. Перейти на закладку «Tree» та ознайомитись з можливою зміною додаткових параметрів пошуку.

6. Натиснути «Query». Перейти у головне вікно програми. (рис. 2.1)



рис. 2.1.

7. У вікні «Spectrum Selection Вох» двічі клацнути правою кнопкою миші на назві серверу (в даному випадку Hubble Space Telescope Faint Object, та вибрати колонки для сортування, в першу чергу за «Distance», в друге чергу за «ssa:target name».

8. Перейти до табличного представлення інформації про спектри. Для цього необхідно клацнути на піктограмі «Tree/Table view».

9. У вікні Spectrum Selection Вох перетягнути колонки з «ssa:target name» та «time.start;obs» в перед та вибрати спектри, отримані 1996-06-22, відмітити їх галочкою та натиснути «RETRIVE».

10. У вікні Graphic Mode, головного вікна, з'являться відповідні характеристики та параметри спектрів (колір, стиль лінії (суцільна, пунктирна, тощо) та квадратик, в якому галочкою відмічають спектри, які повинні бути зображені в графічному режимі. Коли не вибрано жодного спектру, відображаються всі, відмічені у вікні «Spectrum Selection Box».

11. Прибрати галочку напроти меню відображення даних у логарифмічному масштабі у вікні «Wave units» головного вікна. Вибрати там одиниці вимірювання довжини хвилі в ангстремах та одиниці потоку в Ян. (рис. 2.2).



рис. 2.2

Врахування червоного зміщення.

 Зайти на сторінку NED, [4]. Задати об'єкт пошуку NGC 7469.
 Визначити таким чином його червоне зміщення (z=0.016317) і перенести це число у стрічку напроти RedShift та поставити галочку.
 Визначити коефіцієнт E(B-V) (в NED), поставити галочку напроти De-reddening. У діалоговому вікні, яке з'явиться після цього записати коефіцієнт E(B-V).

14. Прибрати нульові та від'ємні значення у спектрі. Натиснути піктограму «Tuning» та вибрати пункт «Reject zero and negative values». При цьому з'явиться новий спектр, який не буде містити нульових та від'ємних значень. Він буде містити точки усіх заданих раніше спектрів, тобто одній довжині хвилі відповідатиме 5 значень потоку, всі результати вимірювань, виконані протягом 1996-06-22. Якщо над цим спектром виконати операцію «Tuning» «Multivalued Spectra Averaging» (яка повертає середнє значення потоку на одній довжині хвилі), в результаті отримаємо середній спектр NGC 7469 за 1996-06-22. Чи є доцільним саме таке усереднення? Для нашого дослідження – так, тому, що ми будемо вивчати лише статистичні властивості цього спектру. Далі необхідно працювати з цим спектром. Для цього у вікні «Graphic mode» напроти нього поставити галочку та натиснути кнопку «View». (Кнопка «View» повертає зображення позначених спектрів у вікні «Graphic mode» (рис. 2.3).

15. Порівняти вигляд отриманого спектру з попередніми результатами інших авторів. В базі даних ADS [2] знайти статті, присвячені обробці саме цього спектру саме цього об'єкту, наприклад, «A Search for Ultrarapid Microvariability in the Seyfert Galaxy NGC 7469 with the Hubble Space Telescope» [3].

31



рис. 2.3

Фільтрування спектру.

16. Фільтрування спектру. Вибрати адаптивний (Adaptive Kernel Filters) фільтр Kernel Functions – Gaussian, Lorentzial content – 0.5 (за умовчанням) та натиснути кнопку «Filter». З'явиться новий спектр. Це буде спектр, який не містить негативних та нульових значень потоку, усереднений за потоком за добу та після фільтрування адаптивним фільтром. (рис. 2.4, зображено зеленою суцільною лінією).



рис. 2.4.

17. Можна проекспериментувати з з іншими фільтрами, які є в VOSpec. (див. теорет. част.).

Ідентифікація спектральних ліній.

18. Натисніть на піктограмі «Simple Line Access», виділіть жовтим кольором довільну область спектру, на якій потрібно ідентифікувати лінію. З'явиться вікно Slap Viewer для вибору певних серверів зі спектральними лініями (SLAP Services), наприклад NIST ATOMIC SPECTRA. Необхідно відмітити потрібні сервера (якщо їх більше як один) та натиснути «Select». Для вибору інших серверів спочатку потрібно натиснути «Reset», далі у вікні вибрати нові сервери і знову натиснути «Select» (рис. 2.5).

🛃 VOSpec	
File Edit View Operat	tions Plastic SAMP Help
🛎 🐺 와 🛛	
Wave Unit Log	Target NGC 7469 Ra 345.815625 Dec +8.873861 Size 0.1 Query
Angstrom 🔽 📃	
Flux Unit	x10 ² VOSpec Spectral Analysis Tool
Jy 🔽	1.4 Xe III 1428.81 A
RedShift -0.016	1.2
De-reddening	
XZV and	
70-7 0.00	
Graphic Mode	
Points	
Points	
Points	1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 2
	Wavelength (Angstrom;linear)
Points	
Points V	
Lines 🔻	
	Hubble Space Telescope Faint Object Spectrograph(2) Analysis Tools Filtering Tools
	Selected Name
	Auaptive Gaussian Filtering
View	
	1 finished RETRIEVE Unmark All Reset
	Copyright ESAC - Villefranca del Castillo - Madrid, Spain

рис. 2.5

19. Проводячи мишкою у вікні зі спектром ідентифікувати дану спектральну лінію. В даному діапазоні (для NGC 7469) це досить складно зробити тому, що на один діапазон хвиль приходиться багато спектральних ліній.

20. Для спрощення зробимо апроксимацію спектральної лінії за допомогою функції Гауса. Виберемо першу яскраву лінію з фіолетової сторони спектру на довжині 1260 Å. Натиснемо піктограму «Fitting Utilities». Виберемо вкладку «Gaussian». Виділимо область, в якій потрібно виконати алгоритм (потрібно протягнути з натиснутою правою кнопкою миші по частині спектра, до якої необхідно застосувати алгоритм). Далі натиснути кнопку «Generate» рис. 2.6.





22. Повторимо п. 20, 21 тільки для випадків апроксимації за допомогою функцій Лоренца (лінія темно сірого кольору) та Фойхта (лінія світло сірого кольору) рис. 2.7.



23. Зробимо апроксимацію континууму поліномом 2-го порядку (лінія сірого кольору) та спектром випромінювання абсолютно чорного тіла – АЧТ (лінія чорного кольору). При апроксимації спектром випромінювання АЧТ його температуру може задавати

користувач, тоді для заданого значення температури на заданому інтервалі довжин хвиль буде побудовано спектр АЧТ. При «Guess Temperature». буде натисканні кнопки автоматично значення температури АЧТ для даного обчислено приблизне спектру. Для побудови спектру АЧТ потрібно натиснути «Generate». Записати отримані параметри: коефіцієнти поліноми, температуру АЧТ та γ^2 . Для цього необхідно двічі клацнути лівою кнопкою миші на назві відповідної апроксимації на вкладці «Fitting Utilities», рис. 2.8. Можна змінити позначення, колір осей та назву спектру. Це робиться за допомогою піктограми «Plot settings».



рис. 2.8

Побудова загального спектру NGC 7469, отриманого за допомогою Hubble Space Telescope Faint Object Spectrograph.

24. Очистити вікно зі спектрами. Для цього необхідно натиснути кнопку «Reset» в нижній частині головного вікна.

25. У вікні Spectrum Selection Вох вибрати спектри, отримані 1996-06-23, відмітити їх галочкою та натиснути «Retrieve» рис. 2.9.



рис. 2.9

26. Як видно з рис. 2.9, спектр, зображений чорним кольором, має багато шумів в інтервалі 1600-1900Å. Зате він гарно представляє частину спектру >1900Å. Тому доцільно використати для побудови одного спектру спектри, позначені відтінками сірого кольору в інтервалі до 1900Å та спектр, зображений чорним кольором після 1900Å.

27. Об'єднання спектрів можна зробити наступним чином. Оберемо спектр, отриманий 23-06-1996 о 03:50:58, нехай це буде спектр № 3. Виділимо область починаючи з 2100 Å до кінця. Виконаємо процедуру прибирання негативних та нульових значень потоку (Turning - reject). Крім того, що ця процедура виконує вищеописані функції, вона не враховує точки спектру, які візуального відображення знаходяться не v вікні спектрів. Результуючий файл буде під № 4. Виберемо 2 інші спектри, отримані 23-06-1996 о 00:36:22 та 23-06-1996 о 02:13:14 (№ 1 та № 2 відповідно) та виконаємо для них процедуру прибирання негативних та нульових значень потоку (Turning - reject) до 2100 Å. Результуючий файл буде під № 5.

28. Виберемо спектри № 4 та № 5 та проведемо процедуру усереднення за значеннями потоку (Turning - average). Далі будемо працювати з цим спектром (рис. 2.10).

37



29. Континуум складається з трьох частин, 1140-2250Å, 2250-4300Å, 4300-8850Å. Зробимо апроксимацію континууму трьома поліномами 2-го порядку (рис. 2.11).



спектром

30.Зробимоапроксимаціюконтинуумувипромінювання АЧТ (рис. 2.12)1140-2250Å: Black Body Fit:1140-2250Å: Black Body Fit:Temperature : 22918,04 KScaling : 4.824218467118476E-7Chi-Square : 3.6750162630833563E-6Null2250-4300Å: Black Body FitTemperature : 11647,52 K

Вікно з числовими значеннями параметрів з'явиться одразу після виконання процедури апроксимації (рис. 3.12). У випадку, якщо воно не з'явиться, потрібно зайти на вкладку «Fitting Utilities» та двічі клацнути мишкою на «BlackBodyFitting».

Для третьої частини спектру неможливо виконати апроксимацію континууму випромінюванням АЧТ.



Тобто, за допомогою апроксимації АЧТ можна описати лише випромінювання в УФ частині даного спектру.

Визначення параметрів та характеристик спектральних ліній.

31. Провести бісектрису лінії На та Н β у спектрі NGC 7469. Для цього необхідно вибрати спектр, отриманий у п. 28. За допомогою піктограми Bisector method обчислити параметри бісектриси та записати їх (velocity span = -6.692Å, -15.067 Å та curvature = 1.338Å, 2.036Å для На та Н β відповідно). Поставити галочку напроти Previous smoothing (рис. 2.13).



32. Провести бісектрису лінії La та порівняти її параметри (velocity span = -6.870Å та curvature = 7.265Å) з параметрами ліній Ha та H β (рис. 2.14).



33. Визначити FWHM (ширини спектральної лінії на половині максимального значення її амплітуди) лінії Н α , Н β та L α . Записати отримані значення. Для цього потрібно виділити лінію та натиснути на значку піктограми Equivalent Width та кнопку Calculate. FWHM = 44.35Å, 468.03Å 144.50Å для ліній Н α , Н β та L α відповідно.

34. Визначити потік в лініях Нα, Нβ та Lα.. Записати отримані значення. Для цього потрібно виділити лінію та натиснути на значку піктограми Flux вибрати пункт Line Flux та натиснути кнопку

Calculate (0.18 ÅJy 3.7ÅJy 1.59ÅJy для ліній $H\alpha$, $H\beta$ та $L\alpha$ відповідно).

35. Визначити потік в континуумі, в трьох його ділянках (1140-2250Å, 2250-4300Å, 4300-8850Å), записати отримані значення та порівняти їх між собою.

1140-2250Å = 3.89 ÅJy

2250-4300Å = 16.21 ÅJy

4300-8850Å= 33.62ÅJy

36. Перевірка лінії на симетричність за допомогою опції дзеркального відображення. У спектрах галактик Сейферта лінії Н α , Н β в багатьох випадках містять декілька компонент, потік в яких може змінюватись з часом. За допомогою цієї опції можна відновлювати профіль спектральної лінії. Виконати цю операцію для лінії L α . Для цього необхідно виділити лінію і натиснути на піктограмі Spectrum Mirroring. Вибрати Line Mirroring та натиснути Generate. Отримати зображення лінії L α (рис. 2.15).



37. Перевірка спектру на симетричність за допомогою опції дзеркального відображення (рис. 2.16). Темно сірим кольором зображено оригінальний спектр, світло сірим – дзеркальне відображення відносно вісі 4500 Å, чорним – дзеркальне відображення спектру.

41



38. Визначення максимального/мінімального значення потоку, загальної тенденції, стандартного відхилення, дисперсії. Вікно статистики відкривається за допомогою піктограми Statistic. Визначити максимального/мінімального значення потоку у спектрі NGC 7469 (minimum flux value (=0.00118), maximum flux value (=0.0167) standard deviation (=0.0019849), variance (=3.940E-6), range (=0.0156)





рис. 2.17 зображення NGC 7469 (зправа) та NGC 5548 (зліва), дані взято з NED.

39. Самостійно виконати завдання 2-39 для NGC 5548.

Список літератури:

1. Freudling, W.; Kümmel, M.; Haase, J.; Hook, R.; Kuntschner, H.; Lombardi, M.; Micol, A.; Stoehr, F.; Walsh, J. The Hubble Legacy Archive NICMOS grism data // Astronomy and Astrophysics, 2008, V. 490, Issue 3, pp. 1165-1179.

2. http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

3. Welsh W. F., B. M. Peterson, A. P. Koratkar, K. T. Korista, A search for ultrarapid microvariability in the Seyfert galaxy NGC 7469 with the Hubble space telescope \\ The Astrophysical Journal, 1998, V. 509, pp. 118-131.

4. <u>http://nedwww.ipac.caltech.edu/forms/byname.html</u>

5. Bayo, A.; Rodrigo, C.; Barrado Y Navascués, D.; Solano, E.; Gutiérrez, R.; Morales-Calderón, M.; Allard, F. VOSA: virtual observatory SED analyzer. An application to the Collinder 69 open cluster // Astronomy and Astrophysics, 2008, V. 492, Issue 1, pp. 277-287.

Зміст.

1.	Вступ	3
2.	Програмне забезпечення VOSpec	5
3.	Практичні завдання	29
4.	Список літератури	43