Київський національний університет імені Тараса Шевченка

А.В.Тугай

Рентгенівська астрономія

Методичний посібник для студентів фізичного факультету спеціальності "астрономія"

Київ, 2012.

Тугай А.В. Рентгенівська астрономія / Методичний посібник К. 2012. - 44 с.

Рецензенти:

Гнатик Богдан Іванович, д.ф.-м.н., провідний науковий співробітник Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка *Якубовський Дмитро Анатолійович*, к.ф.-м.н., молодший науковий співробітник Інституту теоретичної фізики ім.М.М.Боголюбова НАНУ

Розглянуто вченою радою фізичного факультету (протокол №____ від ______ 2011 року)

Багато відкриттів сучасної астрономії пов'язані 3 ОСВОЄННЯМ спостережень у жорстких діапазонах випромінювання. В астрофізиці високих енергій розглядається короткохвильова частина електромагнітного спектру: рентгенівське і гамма-випромінювання, а також нейтрино і космічні промені. Чим вище діапазон енергій, тим важче у ньому спостерігати і тим менше можна виявити джерел на небі. Тому рентгенівська астрономія розглядає набагато більше джерел, ніж гамма-астрономія і нейтринна астрономія. У жорстких діапазонах випромінюють в основному акреційні диски і джети компактних об'єктів, пульсари i залишки наднових. Рентгенівське випромінювання не проходить через атмосферу Землі, тому астрономічні рентгенівські джерела спостерігають з навколоземної орбіти. Перші рентгенівські джерела були відкриті у 1967 за допомогою балістичних ракет з рентгенівськими детекторами. Перший каталог рентгенівських джерел був зроблений за допомогою супутника "Ухуру", запущеного на орбіту у 1970. Цей каталог містив понад 300 джерел. Перший огляд всього неба в рентгенівському діапазоні був зроблений за допомогою космічного телескопа ROSAT, який працював з 1990 по 1999. В огляді було виявлено понад 150000 джерел в діапазоні до 2 кеВ. Зараз на орбіті працюють спеціалізовані рентгенівські телескопи. Їх характеристики представлені у таблиці 1. Для отримання зображень використовуються методи повного внутрішнього відбивання і кодуючої маски.

Спостереження сучасних телескопів зберігаються у електронній формі і часто надаються до вільного доступу для широкої наукової спільноти. Це дозволяє отримати більше наукових результатів за спостереженнями кожного приладу. Міжнародний проект 3 розповсюдження астрономічних спостережень через інтернет називається "Віртуальна обсерваторія". Серед сервісів віртуальної обсерваторії слід назвати сайти "Російської віртуальної обсерваторії", віртуальний телескоп Skyview, а також архіви наземного огляду SDSS і космічних телескопів Hubble і SOHO. В 2006 в Києві створена Українська віртуальна рентгенівська і гамма-обсерваторія VIRGO.UA. Ініціаторами її роботи стали Науковий центр обробки даних гамма-супутника INTEGRAL (Швейцарія), Київський університет ім. Шевченка і Інститут теоретичної фізики ім. Боголюбова (Київ). Зараз до складу VIRGO.UA входять 3 комп'ютерні класи: на фізичному факультеті КНУ, в ІТФ і на Головній астрономічній обсерваторії НАНУ. На VIRGO.UA проводиться спостережень гамма-супутників INTEGRAL обробка i Swift та рентгенівських XMM-Newton, Chandra i RXTE. За 5 років існування віртуальної обсерваторії на ній підготовлено більше 50 наукових робіт. В класі на фізичному факультеті проводиться також навчальна робота. У лютому-травні працює навчальний центр VIRGO.UA, на якому студенти молодших курсів слухають лекції з астрофізики високих енергій. Для

студентів кафедри астрономії та фізики космосу в рамках існуючих навчальних курсів проводяться практикуми з обробки даних космічних телескопів XMM і INTEGRAL. Даний посібник може бути використаний в подібних практикумах. Додаткову літературу (переважно англійською) можна знайти на сайті <u>http://virgo.org.ua</u>.

Таблиця 1. Характеристики приладів на борту рентгенівських обсерваторій. В дужках вказаний рік запуску супутника, а для ROSAT і ASCA – рік закінчення роботи. Ефективна площа наведена для енергії 1 кеВ (для приладів Suzaku: XRS i XIS – 1.5 кеВ, HXD/GSO – 100 кеВ і HXD/PIN – 15 кеВ). Оптичні прилади XMM/OM і INTEGRAL/OMC мають діаметр відповідно 30 і 5 см.

Придад	Ліапазон	Ефективна	Енергетицие		KVTOPA
	випромінюванн	площа	розлілення	Tione sopy	розділення
(pik suriyeky)	g	летектора	розділення		розділення
	кеВ	кв см			
ROSAT (1990-	·1999)				
PSPC	0.1-2.5	240	dE/E=0.43	2°x2°	
HRI	0.1-2.5	80		38'x38'	2"
WFC	0.062-0.206			5°x5°	
ASCA (1993-2	001)				
GIS	0.8-12	50	8%@5.9keV	50'x50'	0.5'
SIS	0.4-12	105	2%@5.9keV	22'x22'	30"
RXTE (1995)			Ŭ		
PCA	2-60	6500			
HEXTE	15-250	2x800			
ASM	2-10				
Chandra (1999))				
ACIS-I	0.2-10	144	E/dE=20-50	4x(16'x16')	
ACIS-S	0.2-10	196	E/dE=9-35	6x(8'x48')	
HRC-I	0.1-10	225		30'x30'	0.5"
HRC-S				7'x97'	
HETG	0.5-10		E/dE=60-1000		
LETG	0.08-6		E/dE=30-2000		
XMM (1999)					
MOS	0.1-15	922	E/dE=20-50	33'x33'	7"
PN	0.1-15	1227	E/dE=20-50	27.5'x27.5'	7"
RGS	0.35-2.5	185	E/dE=200-800	5'x5'	2.5"
ОМ	180-650 нм	d=30	$\lambda/\Delta\lambda=250$	17'x17'	1"
INTEGRAL (2	2002)				
SPI	20-8000	500	E/dE=500@1MeV	16°x16°	2°
IBIS	15-10000	2600+3100	9keV@100keV	9°x9°	12'
JEM-X	3-35	500	1.2keV@10keV	4.8°x4.8°	3'
OMC	500-850 нм	d=5		5°x5°	25"
Swift (2004)					
BAT	15-150	5240		1.4 стерадіан	4'
XRT	0.2-10	110		23.6'x23.6'	5"
UVOT	170-650 нм			17'x17'	0.3"
Suzaku (2005)					
XRS	0.3-12	190	6.5eV@6keV	32 піксели	
XIS	0.2-12	3x340+390	130eV@6keV	18'	
HXD/GSO	30-600	315	3keV	4.5°x4.5°(>100keV)	
HXD/PIN	10-60	145	3keV	34'x34'	

2. Обробка спостережень супутника XMM-Newton

XMM-Newton Рентгенівська обсерваторія була виведена на навколоземну орбіту у 1999. ХММ є одним з найкращих в наш час рентгенівських телескопів (разом з Chandra i RXTE). За спостереженнями ХММ було виявлено більше 200 тисяч астрономічних рентгенівських джерел і опубліковано більше 2800 наукових робіт. Всі спостереження ХММ через рік після проведення доступні у вільному доступі у інтернеті. Орбіта ХММ є еліптичною і у перигеї занурюється у радіаційні пояси Землі. За межами радіаційних поясів ХММ проводить наукові спостереження, які можуть тривати до 40 годин (140 кілосекунд). ХММ оснащений трьома камерами EPIC, спектрометром RGS і оптичним монітором. Кожна з камер EPIC (MOS1, MOS2 i PN) складається з ПЗЗ-чіпів, що розміщені на кінці багатошарової металічної труби, яка фокусує фотони у діапазоні 0.2-12 кеВ завдяки явищу повного внутрішнього відбивання.

Структура даного розділу є наступною. У розділі 2.1 перераховані характеристики XMM, які роблять його цінним сучасним науковим приладом. У розділі 2.2 проводиться порівняння XMM з іншими рентгенівськими телескопами. У розділі 2.3 описана процедура завантаження архіву спостереження з сайту HEASARC і отримання списків подій за допомогою пакету SAS. Перед подальшою обробкою спостережень XMM варто ознайомитись у розділі 2.4 з факторами, що впливають на їх якість. У розділі 2.5 розібраний найпростіший приклад отримання і аналізу зображень, кривих блиску і спектрів рентгенівського джерела Кентавр X-3. На цьому розділі можна зупинитися при першому ознайомленні з методами обробки спостережень XMM. В розділі 2.6 описані додаткові команди і параметри програм SAS і Xspec, які можуть бути корисні при більш детальному дослідженні рентгенівських джерел.

2.1. Основні особливості ХММ

Висока чутливість. Телескопи XMM мають найбільшу ефективну площу серед усіх фокусуючих рентгенівських телескопів — 3 телескопи по 1550 см² на енергії 1.5 кеВ, тобто всього 4650 см².

Хороше кутове розділення. Висока чутливість XMM досягається використанням 58 концентричних дзеркальних шарів у кожному рентгенівському телескопі. Результуюча функція розсіяння має повну ширину на половині максимуму біля 6'', 50% енергії точкового джерела зосереджується у кружку діаметром 15''.

Середнє і високе спектральне розділення. ПЗЗ камери ЕРІС мають середнє спектральне розділення з роздільною силою ΔЕ/Е в діапазоні 20-50. Спектрометри RGS мають набагато більше кутове розділення з роздільною силою в інтервалі від 200 до 800.

Одночасні оптичні і ультрафіолетові спостереження. Спостереження на співвісному оптичному і ультрафіолетовому телескопі ОМ роблять можливим слідкування і ідентифікацію оптичних і ультрафіолетових компонентів рентгенівських джерел, що видимі на рентгенівських телескопах, а також дозволяють отримувати зображення оточуючого поля.

Довготривала видимість цілі. Дуже витягнута еліптична орбіта дозволяє отримати час експозиції до 40 годин при мінімальній висоті наукових спостережень 46000 км. Це дуже зручно для вивчення змінності джерел і для досягнення високої ефективності обсерваторії у цілому.

2.2. Порівняння ХММ з іншими рентгенівськими телескопами

Порівняння основних параметрів XMM з іншими телескопами можна зробити на основі таблиці 1. З неї випливає, що XMM і Chandra мають подібні характеристики і обидва є телескопами нового покоління в порівнянні з ROSAT і ASCA, які працювали перед ними. Більш конкретно, XMM має наступні переваги:

- 1. Висока чутливість при спостереженні протяжних джерел
- 2. Високороздільна спектроскопія RGS з одночасним отриманням зображень і спектрів помірного розділення на EPIC і оптичними/ультрафіолетовими спостереженнями OM.
- 3. Висока чутливість на енергіях до 15 кеВ.
- 4. Чудова чутливість при переході до нижчих енергій, аж до 150 еВ.
- 5. Високе часове розділення камер ЕРІС.

Основна відмінність використання XMM і Chandra полягає у тому, що

всі інструменти XMM можуть працювати одночасно, в той час як інструменти Chandra працюють по черзі.

XMM і Chandra є найбільш універсальними сучасними телескопами. Вони можуть одночасно отримувати якісні зображення, криві блиску і спектри джерел у м'якому і середньому рентгенівському діапазонах. Інші сучасні рентгенівські телескопи спеціальзовані, а саме:

RXTE призначений для побудови рентгенівських кривих блиску.

INTEGRAL розрахований на спостереження у жорсткому рентгенівському і м'якому гамма-діапазонах (вище 20 кеВ).

Основною метою Swift є спостереження гамма-спалахів і їх рентгенівських компонентів.

На супутнику Suzaku використовується нова експериментальна технологія рентгенівського мікрокалориметра.

2.3. Завантаження даних і отримання списків подій

Дані спостережень XMM та інших телескопів можна отримати з інтернет-архіву HEASARC. Там же можна завантажити програмне

забезпечення, необхідне для обробки даних XMM: HEAdas, SAS і Xspec. Перераховані програми працюють під операційною системою Linux. Пакет SAS (Science Analysis System) дозволяє для кожного спостереження XMM отримати списки подій (зареєстрованих фотонів) і продукти: зображення, криві блиску і спектри. Процедура обробки даних буде подібною і для інших рентгенівських телескопів. В гамма-телескопах фокусування фотонів неможливе. НИХ замість дзеркал для побудови зображень TOMV В використовується інший принцип – "кодуюча маска" і обробка даних суттєво ускладнюється.

2.3.1. Рентгенівський пульсар Кентавр Х-3

В даному розділі описана процедура отримання списків подій і продуктів для спостереження рентгенівського пульсара Кентавр Х-З на камерах ЕРІС, яке проводилося 27-28 січня 2001. Кентавр Х-З – перший рентгенівський пульсар, відкритий ще у 1967 і, разом з цим, одне з найяскравіших рентгенівських джерел на небі. Він являє собою тісну подвійну систему, що складається з гігантської зорі класу О (названу на честь свого відкривача зорею Кшемінського) і нейтронної зорі, яка має навколо себе акреційний диск і є джерелом рентгенівських імпульсів. Орбітальний період системи – 2 доби, а період рентгенівських імпульсів, що відповідає періоду обертання нейтронної зорі – 4.8 с. Промінь зору лежить в площині орбіти системи, тому кожні 2 доби відбувається затемнення рентгенівського джерела. Початок спостереження XMM приблизно відповідає середині затемнення. Протягом спостереження рентгенівське джерело виходить із затемнення і досягає максимуму яскравості.

Перед початком роботи доцільно завантажити з архіву попередні зображення джерела – PPS. Вони представлені на Рис. 1. Перше зображення утворене накладанням даних з усіх трьох камер ЕРІС. На ньому ми бачимо яскраве джерело в центрі – Кентавр Х-З, а також багато слабких неототожнених джерел. Поле зору має діаметр 30'. Друге зображення отримане камерою MOS1. Кожна з камер MOS складається з 7 квадратних ПЗЗ-чіпів, з яких і будується зображення. Кожен чіп може працювати в одному з режимів: Imaging (режим побудови зображення), Timing (режим слідкування за часовими змінами блиску), Burst (режим спостереження спалаху для PN камери). Під час спостереження Кентавра X-3 6 зовнішніх чіпів камери MOS1 працювали в режимі Imaging і отримали зображення ділянок фону. Центральний чіп працював у режимі Timing. У цьому режимі суттєво збільшується часова роздільна здатність детектора, що є важливим для спостереження яскравим джерел, яким є Кентавр Х-З. Якщо на один з пікселів ПЗЗ-матриці протягом часу накопичення потрапляє 2 або більше фотонів, вони реєструються як один фотон, енергія якого дорівнює сумі енергій справжніх квантів. Це явище називається ефектом накопичення (pile

ир, див. також розділ 2.4.3). Ефект накопичення призводить до недооцінки повного блиску яскравого джерела і до спотворення спектру. В нижчому діапазоні енергій спектр виявиться заниженим, а у вищому – завищеним. Цих ефектів можна позбутися, використовуючи режим Timing, в якому час накопичення значно менший і фотони розділяються. Натомість, у режимі Timing зчитується лише одна просторова координата, тому замість зображення ми можемо отримати одновимірну гістограму. Під час спостереження Кентавра X-3 вся камера MOS2 працювала в режимі Imaging i отримала якісне зображення. На рисунку ми бачимо, що чіпи камер MOS1 і MOS2 повернуті одні відносно інших під кутом 90°, тому проміжки між ними взаємно перекриваються. Камера PN загалом має більшу чутливість, ніж камери MOS. Вона складається з 12 вузьких прямокутних чіпів. На границях чіпів часто виникають суттєві крайові ефекти ("гарячі" або вимкнені пікселі і цілі стовпчики), тому камера PN отримує гірші зображення протяжних об'єктів, ніж камери MOS. У нашому спостереженні використовувався лише один квадратний фрагмент одного з чіпів камери PN, який отримав зображення джерела і невеличкої прилеглої ділянки фону.

2.3.2. Процедура отримання даних спостережень

Для отримання apxiby спостережень перейдіть на сторінку http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/archive.html. У поле справа введіть запит:

XMM-Newton Cen X-3

і виберіть Start Query. Ви побачите список каталогів з бази HEASARC, в яких є записи про Кентавр X-3. Виберіть каталог xmmmaster. Буде виведено таблицю спостережень Кентавра Х-3, які проводилися на супутнику ХММ. Виберіть спостереження з ідентифікаційним номером 0111010101. Під таблицею зніміть виділення з усіх типів даних, крім ODF (Observation Data Files, файли даних спостережень). Виберіть "Show current rows selected for Data Products Retrieval" і "Retrieve". Ви отримаєте http-посилання, за яким можна завантажити tar-apxiв зі спостереженням. Розмір apxiby 114 Мб. Розпакуйте архів на жорсткий диск за допомогою стандартного архіватора. Ви отримаєте папку, назва якої співпадає з номером спостереження – 0111010101. Будемо далі називати цю папку робочою. В ній ви будете створювати списки подій і продукти. Для цього ми пропонуємо запускати команди HEAdas i SAS у текстовій консолі – терміналі, стандартному засобі Linux. Повний список команд практикуму наведений у розділі 2.4. Цей список може використовуватися як командний файл, який можна зберегти на диску під назвою xmm.csh і виконати командою

source xmm.csh

Розглянемо всі необхідні команди послідовно. Протягом своєї роботи виводить на екран текстові повідомлення за командний файл xmm.csh Перед початком роботи допомогою команди echo. командою csh запускається командна оболонка С shell. В цій оболонці виконуються різноманітні командні файли – скрипти. Потім запускається скрипт login.csh, що лежить у папці /virgo/scripts. Він виконує ініціалізацію пакетів HEAdas і SAS. Команда setenv створює у командній оболонці необхідні змінні і записує у них відповідні значення. До змінної ID записується шлях до папки зі спостереженням. Наприклад, архів спостереження може бути відкритий у папці користувача virgog1, що зберігається у сховищі даних unsaved_data2. Змінна SAS MEMORY MODEL визначає спосіб використання оперативної пам'яті. В режимі high всі необхідні для розрахунку дані завантажуються в оперативну пам'ять, а в режимі low дані зчитуються з диску кожного разу у момент виклику. Другий режим рекомендується для систем з оперативною пам'яттю менше 1 Гб. Змінна SAS_VERBOSITY визначає кількість проміжних повідомлень під час роботи програм SAS і приймає ціле значення від 0 до 9. При значенні 0 виводяться тільки повідомлення про помилку, а при значенні 9 – повний набір повідомлень. У змінну SAS ODF записується шлях до папки ODF з файлами спостереження. Файли містять дані у форматі FITS (таблиці з заголовками у бінарному коді), кожен файл зкомпресований за допомогою архіватора ZIP. Команда cd \${ID}/ODF здійснює перехід до папки ODF. Команда gunzip відкриває всі ZIP-архіви, після чого ми переходимо до робочої папки 0111010101. Команда cifbuild створює калібрувальний файл ccf.cif з інформацією про режими роботи приладів супутника під час спостереження. Шлях до цього файлу записується до змінної SAS_CCF. Команда odfingest враховує режими роботи приладів і створює підсумковий файл з загальною інформацією про спостереження. Назва цього файлу закінчується на SUM.SAS. Вона записується до змінної SAS ODF. Тепер можна створювати списки подій. Списки подій. зареєстрованих камерами MOS, створюються командою етргос, а списки подій для камери PN – командою ерргос. На сучасному комп'ютері списки подій створюються приблизно за 20 хвилин. Для спостереження Кентавра Х-З будуть створені 4 списки подій: події камери MOS1 у режимах Timing і Imaging і по одному списку подій для камер MOS2 і PN. Для зручності ми перейменуємо їх за допомогою команди mv у файли з короткими назвами most1.fit, mos1.fit, mos2.fit i pn.fit відповідно. При створенні списків подій для кожної ПЗЗ-матриці кожної камери створюється окремий файл з переліком вимкнених, несправних, "поганих" пікселів: частково або повністю засвічених. Деякі з цих пікселів можна використовувати при дослідженні слабких протяжних джерел – туманностей і галактик. При обробці спостереження Кентавра Х-З ми будемо відкидати ці піксели і на зображенні ви їх побачите у вигляді чорних точок.

2.4. Фізичні процеси, які викликають технічні ефекти при обробці спостережень XMM

2.4.1. Позачасові події

При побудові зображень камерами ЕРІС фотони реєструються не тільки протягом часу накопичення, а і під час зчитування ПЗЗ (зміщення зарядів вздовж стовпчика до реєструючого контакту). Ці так звані позачасові події мають неправильну координату RAWY (ордината у стовпчику ПЗЗ) і призводять до неправильного врахування неточностей переносу зарядів. Частка позачасових подій залежить від співвідношення часу зчитування і часу накопичення і складає від 0.35 до 0.5% для камер MOSi від 0.16 до 6.3% для камери PN. Позачасові події призводять до систематичного розширення спектральних ліній. Припустимо, що піксель ПЗЗ з ординатою RAWY_S реєструє яскраве точкове джерело. Тоді позачасові події з RAWY<RAWY_S будуть недовиправлені (і отримають занижену енергію) в той час як події з RAWY>RAWY_S будуть скоректовані надмірно і отримають завищену енергію.

На зображеннях позачасові події проявляються у вигляді вертикальних стовпчиків, що тягнуться від яскравих джерел до країв ПЗЗ чіпів. Таким чином, ефект позачасових подій впливає не тільки на реєстрацію самого яскравого джерела, а і на джерела, що можуть лежати на шляху зчитування, тобто на тому ж ПЗЗ чіпі і на тій же абсцисі, але ближче до краю чіпа. Аналіз зображень і спектрів таких джерел вельми ускладнений. Команда SAS ерсhain може моделювати списки позачасових подій. Для виправлення ефекту позачасових подій доцільно віднімати від готових зображень і спектрів рентгенівських джерел зображення і спектри змодельованих списків позачасових подій.

2.4.2. М'які протонні спалахи

Фон камер EPIC має так звану "спалахову" складову, що утворюється протонами з енергіями до кількох сотень кеВ, які потрапляють до детекторів через систему рентгенівських дзеркал. Такі протони можуть спричинювати повну засвітку всього поля зору. Під час спалаху потік протонів швидко і сильно змінюється і часто перевищує у багато разів не тільки фон, а і яскравість всіх джерел у полі зору. У той час як MOS1 і MOS2 камери мають ідентичні криві блиску, покази камери PN можуть суттєво відрізнятися у тому розумінні, що деякі спалахи виглядають на ній набагато інтенсивнішими.

Спектри м'яких протонних спалахів змінні і не мають чіткої залежності між інтенсивністю і типом спектру. Згідно сучасних уявлень м'які протони

найбільш імовірно утворюють хмари, що населяють магнітосферу Землі. Кількість хмар, які зустрічає XMM на своїй орбіті залежить від багатьох факторів, таких як висота супутника, його положення відносно магнітосфери і рівень сонячної активності.

На борту XMM працює Монітор Випромінювання, який вимірює повний потік, що надходить до телескопа. Дані про потік усереднюються за різними часовими інтервалами і можуть бути завантажені у вигляді графіків у форматі рs. Спалахи повного потоку відповідають м'яким протонним спалахам, тому названі графіки можуть використовуватися для оцінки якості спостережень XMM у той чи інший час. Архів даних Монітору Випромінювання доступний з 2004 року. Докладна інформація про роботу Монітору Випроміння розміщена на сторінці

http://xmm.esac.esa.int/external/xmm_user_support/documentation/ uhb_2.6/node85.html#uhb:par:erms

Відомості про м'які протонні спалахи і їх вплив на фон камер ЕРІС розміщені за адресою

http://xmm.esac.esa.int/external/xmm_user_support/documentation/ uhb_2.6/node34.html

2.4.3. Ефект накопичення

Накопичення фотонів, тобто надходження більш ніж одного рентгенівського фотона на той самий піксел камери до зчитування, може впливати і на функцію розсіяння і на побудову спектру EPIC.

При побудові зображень з усього поля зору накопичення не відбувається, якщо потік від точкового джерела не перевищує 0.7 фотона в секунду (с⁻¹) для камер MOS і 6 с⁻¹ для камери PN. При спостереженні в режимі Timing відповідні граничні потоки складають 100 с⁻¹ і 800 с⁻¹. При значеннях потоку, що близькі до граничних, наявність чи відсутність ефекту накопичення залежить також від спектру джерела. Накопичення може відбуватися при потоках нижче вказаних, якщо спектр джерела дуже крутий (м'який). З іншого боку, при положенні джерела далеко від осі зору накопичення буде набагато менш імовірним.

Функція розсіяння залежить від ефекту накопичення оскільки в її центрі найбільше фотонів може приходити за той же час (час зчитування). При цьому часто будуть утворюватися багатопіксельні фотонні візерунки, які відкидаються для камер MOS, оскільки інтерпретуються бортовим програмним забезпеченням ЯΚ результат дії космічних променів. Реконструкція і інтерпретація фотонних подій камери PN виконується після закінчення і запису спостережень за допомогою програмного пакету SAS. В крайньому найгіршому випадку ефект накопичення призводить до утворення дірки в центрі функції розсіяння.

Вплив накопичення на спектр також суттєвий, оскільки заряди, накопичені з більш ніж одного фотона, додаються перед зчитуванням, що призводить до утворення фіктивних "жорстких" фотонів замість двох або більше м'яких. Вплив накопичення на спектр суттєво уникається при відборі тільки однопіксельних подій. При цьому втрачається частина зареєстрованого потоку. У випадку дуже сильного ефекту накопичення спектр може бути побудований коректно, якщо відкинути центральну частину зображення точкового джерела (див. розділ 2.6.1).

Моделювання ефекту накопичення на тепловому спектрі показало, що ефективна температура і стовпчикова густина поглинаючого водню N_H підвищується, оскільки втрачаються фотони низьких енергій і з'являються фіктивні фотони високих енергій. Внаслідок ефекту накопичення, температура, яка визначається зі спектру методом хі-квадрат, залежить від яскравості джерела (збільшується). Показник степеня степеневого спектру також зазнає впливу ефекту накопичення – знижується зі зростанням яскравості джерела.

Необхідність врахування ефекту накопичення залежить від конкретної наукової задачі, яка ставиться при обробці спектрів. При потоках аж до 2 відліків на секунду для камер MOS похибка N_H не перевищує 10%, а похибка температури і коефіцієнта нормування — 2%. Такі похибки можуть бути задовільними при аналізі спектрів астрономічних джерел.

Для перевірки ефекту накопичення використовується команда SAS epatplot, яка моделює для даного спостереження відносну кількість подій з 1, 2, 3 і 4 пікселів. Тільки такі події можуть викликатися рентгенівськими фотонами. Однопіксельня подія реєструється коли фотон потрапляє у середину піксела, двопіксельна відповідає спільній стороні двох пікселів, 3- і 4-піксельні події можливі, якщо фотон поцілить близько до спільної вершини 4 пікселів (піксели квадратні). Космічний промінь (протон) може вибивати електрони з більшої кількості сусідніх пікселів і реєструється у вигляді події зі складним візерунком (англ. pattern). З вхідного списку подій вибирається кружок радіусом 30", для якого будується спектральний розподіл подій вказаних чотирьох типів. Ефект накопичення може призводити до утворення додаткових 2-, 3- і 4-піксельних подій якщо сумарна енергія відповідної кількості фотонів менша за межу чутливості детектора (15 кеВ). На основі відомого спектрального розподілу зареєстрованих подій команда epatplot розраховує і відображає на графіку теоретичну частку 1- і 2-піксельних подій. На тому ж графіку відображається фактична частка подій всіх чотирьох типів. При відсутності ефекту накопичення теоретичні і фактичні графіки повинні бути близькими.

2.4.4. Перерозподіл енергії

Під перерозподілом енергії мається на увазі енергетичний профіль, записаний детектором від монохроматичного вхідного сигналу. Він обумовлений розширенням інтервалу записаної енергії внаслідок статистичної природи процедури збирання зарядів (тобто скінченним енергетичним розділенням) і ефектами втрати зарядів, які спотворюють профіль.

Енергетичне розділення відслідковується бортовим калібрувальним джерелом, яке генерує сильні лінії Al-K_{α} (1.487 кeB) і Mn-K_{α} (5.893 кeB). Розділення камер MOS значно погіршувалося до тих пір, поки камери не були охолоджені (у 2003). Після цього погіршення енергетичного розділення стало малим. Ширина ліній камери PN зростає в середньому на 2.5 eB на рік з 2004 року.

Перерозподіл низьких енергій (RMF) ПЗЗ МОЅ має складну форму, причому основний фотопік завжди має вторинний компонент (плече), відносна інтенсивність якого зростає зі спаданням енергії, допоки на найнижчих енергіях вона не стає основною. Спостереження постійних і слабкозмінних джерел, таких як залишок наднової 1ES0102-72 і О зоря Дзета Корми, показали, що за час польоту супутника функція перерозподілу змінюється і в просторі в межах детектора (її зміни при наземному калібруванні були досліджені в основному в залежності від напрямку променя зору) і в часі.

Форма функції перерозподілу така, що основне її плече перетворюється на пласку поличку нижчої амплітуди, що сильніше витягнута до нижчих енергій. Просторове зміщення відбувається в межах 40" від оптичної осі, в області так званого "сліду". Новий метод визначення RMF з врахуванням структури сліду включений до пакету SAS починаючи з версії 6.5.0.

Перерозподіл енергії камери PN залежить від режиму спостережень. Це означає, що для різних режимів необхідні різні матриці відгуку. Команда для побудови матриць відгуку rmfgen підтримує всі режими починаючи з версії SAS 5.4.1. Перерозподіл енергії вивчений в основному для джерел на осі зору. Матриці відгуку ідентичні для всіх ПЗЗ (зазначимо, що в режимах SW, TIMING і BURST використовується лише один ПЗЗ чіп з фокальною точкою). Перерозподіл (енергетичне розділення) залежить лише від координати RAWY, інші позаосьові (радіальні) залежності в перерозподілі енергії не існують.

Стабільність або будь-які зміни перерозподілу в найнижчому рентгенівському діапазоні регулярно відслідковуються на основі спостережень ізольованої нейтронної зорі RXJ1856.6-3754. Її спектр добре вивчений, практично незмінний і відтворюється в кожному новому циклі роботи XMM (1-2 рази на рік). Спостереження бортового калібрувального джерела показують погіршення енергетичного розділення PN камери на 2.5 eB на рік. Цей ефект досі не виправлений в пакеті SAS. З іншого боку, спостереження астрофізичних джерел (зорі Ета Кіля і активних ядер галактик) вказують на стале значення розділення з часом. Дослідження цієї проблеми калібрування PN камери тривають. У червні 2011 року розпочатий також новий проект по покращенню калібрування камери PN в режимі TIMING. Останні новини з калібрування приладів XMM можна дізнатися за адресою:

http://xmm2.esac.esa.int/external/xmm_sw_cal/calib/index.shtml

2.5. Побудова зображень, кривих блиску і спектрів

Якщо ви маєте готові списки подій і бажаєте їх обробляти, вам потрібно виконати ініціалізацію: запустити командну оболонку, налаштувати програмні пакети, задати значення необхідних змінних і перейти до робочої папки. Для цього запустіть у терміналі 8 команд, що наведені на початку другої частини командного файлу. На першому етапі обробки спостереження побудуємо для всіх списків подій криві блиску, щоб виявити можливі сонячні спалахи. Ми будемо використовувати команду evselect з пакету SAS. Це досить універсальна команда: за допомогою неї можна фільтрувати списки подій, отримувати всі типи продуктів (зображення, криві блиску і спектри) і виконувати багато інших операцій. Через таку універсальність команда evselect може мати багато параметрів. Параметр table вказує, над якою таблицею буде виконуватися та чи інша операція. Ми будемо працювати з таблицею EVENTS з різних файлів зі списками подій. Наявність параметра withrateset вказує на те, що ми створюємо криву блиску. Крива блиску записується у файл, назва якого закінчується на –ra.fit. Файл з кривою блиску містить таблицю з колонками ТІМЕ (час) і RATE (потік частинок), які визначаються параметрами maketimecolumn i makeratecolumn. Параметр timebinsize задає час усереднення (у секундах), якому на кривій блиску буде відповідати одна точка. Для такого яскравого джерела, як Кентавр Х-З, можна побудувати якісну криву блиску з часом усереднення 100 секунд. Для слабких рентгенівських джерел час усереднення доводиться збільшувати до 1000 секунд. Після того, як ви запустите 4 команди evselect для створення кривих блиску, ви зможете їх переглянути за допомогою програми Fit Viewer (запускається скороченою комбінацією fv). Починайте побудову кривих блиску з most1-ra.fit. Відкриваючи у fv файл з кривою блиску, вибирайте опцію plot для першої, найбільшої таблиці. Вибирайте послідовно ТІМЕ, Х, RATE, Y, ERROR, YERROR і Plot. На екрані з'явиться графік кривої блиску. Відкрийте наступні файли і побудуйте послідовно решту кривих блиску у наступному порядку: mos1-ra.fit, mos2-ra.fit, pn-ra.fit. Перед виконанням команди Plot для кожної з них активуйте опцію Add my curve to current graph. Ви повинні отримати криві блиску, подібні до зображених на Рис. 2. Створіть

папку "zvit" для здачі результатів вашої роботи. Збережіть у неї графік з кривими блиску, вибираючи у меню File опції Print i Print to File. Вкажіть назву файлу 'light_curve.jpg'.

Проаналізуємо отримані криві блиску. Криві блиску камер PN і центрального чіпа MOS1 (що працював у режимі Timing) пропорційні, але камера PN реєструє більше подій, оскільки вона більш чутлива. Зовнішні чіпи MOS1 реєструють слабкий постійний фон і спалах у кінці спостереження. На кривій блиску камери MOS2 добре видно ефект накопичення: при виході нейтронної зорі із затемнення, рентгенівський потік зростає повільніше, ніж на інших камерах, і крива блиску спотворюється. Надалі ми будемо розглядати 3 списки подій, що містять джерело: PN, MOS2 і центральний чіп MOS1. З них потрібно виключити проміжок часу у кінці спостереження, що відповідає сонячному спалаху. Для цього на кожній з 3 кривих блиску виберемо граничне значення потоку, починаючи з якого кількість відліків сильно зростає через сонячних спалах. Наприклад, можна вибрати значення 16, 13 і 39 відліків за секунду для камер MOS1, MOS2 і PN відповідно. За допомогою команди tabgtigen можна скласти таблицю інтервалів часу, в яких потік менший, за вибране нами значення. Такі інтервали часу називаються хорошими (англ. good time interval, GTI). У нашому випадку у таблиці буде тільки один хороший інтервал часу, початок якого співпадає з початком спостереження, а кінець – з початком сонячного спалаху. У інших спостереженнях ХММ часто зустрічаються серії з великої кількості коротких СОНЯЧНИХ спалахів, Щ0 охоплюють весь час спостереження. В таких випадках таблиця хороших інтервалів часу буде складною, але створюється і застосовується вона так само просто, як і в нашому. Хороші інтервали часу для камер MOS1 і MOS2 ми запишемо у файли gti1.fit i gti2.fit, а для камери PN – у файл gti.fit.

крок – фільтрування списків подій. Наступний Фільтрування параметрами evselect withfilteredset виконується командою 3 i keepfilteroutput. У файл filteredset, назва якого закінчується на -filt.fit, записуються події, що задовольняють умові фільтрування expression. Перша з умов фільтрування відбирає хороші інтервали часу, що зчитуються з файлу. Умова FLAG=0 відкидає події, зареєстровані так званими "поганими" пікселами: пошкодженими, вимкненими або засвіченими. Інші дві умови відкидають частинки космічних променів (серед яких переважають протони). Параметр події PATTERN є номером конфігурації пікселів, що спрацювали одночасно під час реєстрації частинки. За реєстрацію рентгенівського фотона приймаються значення PATTERN від 0 до 12 для MOS камер і PATTERN=0 для PN камери. Вищі значення цього параметру вважаються за ознаку космічного променя і повинні відкидатися. Параметр РІ є попередньою оцінкою енергії частинки в електрон-вольтах. Камери MOS працюють в діапазоні енергій від 200 еВ до 12 кеВ, а камера PN – від 150 еВ до 15 кеВ.

Космічні промені можуть видавати сигнал за межами цих діапазонів і такі сигнали теж повинні бути відкинуті.

Зображення з камер, що працювали у режимі Imaging, отримуються з фільтрованих списків фотонів за допомогою команди evselect з параметром withimageset. Ми отримаємо зображення з розділенням 600х600 пікселів у fitфайлах, назви яких закінчуються на -filt-im. Переглянути зображення можна у програмі ds9. Запустіть у терміналі ds9 і відкрийте у цій програмі файл mos2-filt-im.fit. Зображення джерела видно в центрі екрану у вигляді маленької плямочки. Щоб побачити все поле зору, перейдіть ЛΟ логарифмічного масштабу яскравості пікселів (виберіть Zoom-log). Для покращення оформлення зображення, його можна розфарбувати у різні кольори (Colour-b) і нанести координатну сітку (Analysis-Display Coordinate Grid). Щоб побудувати спектр, необхідно на зображенні вибрати у полі зору область джерела і область фону. При побудові спектру джерела від спектру області джерела буде віднятий спектр області фону. Швидко клацніть на центр джерела три рази. Навколо джерела з'явиться кругова область і ви перейдете до окремого вікна з її параметрами. Ви можете змінювати координати центра області і її радіус.

Розглянемо детальніше системи координат, що використовуються при обробці спостережень ХММ.

- 1. RAWX, RAWY. Координати піксела в межах одного окремо взятого П33 чіпа. Наприклад, для камери MOS ці координати можуть лежать в межах від 0 до 599.
- 2. DETX, DETY. Так звані "фізичні" координати. Система координат охоплює всі ПЗЗ чіпи даної камери. Цими координатами можна описати будь-яку точку у полі зору камери, частини ПЗЗ чіпів, що виходять за межі поля зору, а також проміжки між чіпами і зовнішні області, не покриті чіпами (очевидно, з цих областей ніколи нічого не реєструється). Для точного опису положень ці координати мають приблизно у 40 разів дрібніший крок, ніж RAW. Центр поля зору знаходиться поблизу точки DETX=DETY=25000.
- Небесні екваторіальні координати. Оскільки діаметр поля зору складає 30', координати можуть змінюватись в цих же межах. Розраховуються з точністю до 0.01" (розмір піксела на ПЗЗ чіпі – 6").

Для вибору положення області за зображенні використовуйте фізичні координати. Вони відображаються у ds9 над лівою частиною зображення разом з небесними екваторіальними координатами і номерами пікселів на ПЗЗ-матриці. Після того, як ви задасте оптимальні параметри області джерела, виберіть Apply i Cancel. Аналогічно потрібно вибрати область фону. Область фону бажано вибирати на тому ж ПЗЗ-чіпі, що і область джерела, недалеко від неї. Для якісного віднімання спектру фону область фону повинна бути якомога більшого розміру, вона не повинна містити ніяких джерел і перетинатися з областю джерела. Запишіть параметри вибраних областей у фізичних і екваторіальних координатах. Збережіть зображення з позначеними на ньому областями у файл mos2.jpg у папці zvit. Аналогічно опрацюйте зображення камери PN і збережіть його у файлі pn.jpg.

Для центрального чіпа камери MOS1, що працював у режимі Timing, побудуйте одновимірну гістограму за допомогою команди з параметрами withhistogramset=yes i histogramcolumn=RAWX. Перегляньте гістограму у програмі fv і порівняйте її з Рис. За. Збережіть її у файл mos1.jpg.

Найпростіша команда SAS, що дозволяє отримати рентгенівський спектр - еspecget. В ній вказуються вирази для областей джерела і фону srcexp і backexp. Параметр filestem задає назву спектру. Побудуємо спектр для камери MOS2. Komahda especget працює біля 10 хвилин і створює 4 файли: mos2_src.ds, mos2_bgd.ds, mos2_src.arf, mos2_src.rmf. Перші два файли містять спектри джерела і фону. Призначення інших двох файлів полягає у наступному. Для отримання спектру необхідно визначати функцію відгуку, що дорівнює імовірності реєстрації фотона з енергією Е в каналі I. Функція відгуку є добутком матриці перерозподілу, що зберігається у файлі rmf (Redistribution Matrix File), і матриці відгуку, що зберігається у допоміжному файлі відгуку arf (Ancillary Response File). У допоміжному файлі відгуку описана залежність ефективної площі детектора від енергії.

Отриманий спектр необхідно розбити на енергетичні інтервали за допомогою команди grppha. Спектральне розділення камер EPIC приймає значення від 70 еВ на енергії 1 кеВ до 150 еВ на 6.4 кеВ (енергія емісійної лінії заліза, що зустрічається у багатьох рентгенівських спектрах). На енергіях вище 10 кеВ розділення різко спадає, що разом зі зростанням фонового випромінювання у цьому діапазоні сильно погіршує можливість побудови спектру. Програмне забезпечення SAS проводить моделювання спектру на основі функції відгуку, що дозволяє побудувати спектр задовільної якості для яскравого джерела з розділенням 50 еВ в діапазоні до 10 кеВ. Команда grppha має власний текстовий інтерфейс. Щоб не вводити в інтерфейс кожну окрему команду вручну використовується службова комбінація << Е. Вона означає, що в інтерфейс вводяться наступні команди, що перелічені до мітки Е. Така комбінація дозволяє автоматично виконувати розбиття спектру за один підхід в командному файлі або вставляючи одразу весь список команд у термінал. Отже, у grppha вводиться ім'я файлу зі спектром, що буде розбиватися. За ним вводиться ім'я файлу, до якого буде вводитися розбитий спектр. Знак оклику перед іменем файлу дає можливість перезапису існуючого файлу з таким іменем. Потім дається команда розбиття group, в якій вказується мінімальна ширина спектрального інтервалу – 50 еВ. Нарешті, виконується вихід з інтерфейсу. Якщо команда grppha виконується успішно, вона виводить на термінал повідомлення 'completed successfully'.

Готовий спектр можна зберегти у зручному форматі і проаналізувати за допомого програми Хѕрес. Нижче наведений мінімальний перелік команд Хѕрес, необхідний для опрацювання спектру.

cpd /gif - Встановлення пристрою для виводу спектру. В нашому прикладі графік спектру буде зберігатися у gif файл.

setplot energy - По осі абсцис буде відображатися енергія фотонів у логарифмічному масштабі, виражена у кеВ. За замовчуванням замість енергії відображається номер каналу спектрометра, що пов'язаний з енергією складним нелінійним чином.

data mos2.grp - Зчитування спектру з файлу.

ignore 0.0-0.2 - Відкидання інтервалу низьких енергій, що лежить за межею чутливості приладу.

ignore bad - Відкидання спектральних інтервалів, які містять надто мало фотонів. Такі інтервали об'єднуються з сусідніми.

model - Застосування до спостережуваного спектру фізичної моделі джерела. Найбільш уживана і найпростіша модель – степенева (powerlaw). Вона має 2 параметри: показник степеня і нормуючий множник. У більшості рентгенівських спектрів спостерігається фотоіонізаційне поглинання міжзоряною речовиною на низьких енергіях. Найпростіша модель, що враховує таке поглинання – phabs. Ця модель має лише 1 параметр: кількість атомів водню вздовж променя зору у стовпі перерізом 1 см². В Хѕрес можна розглядати комбінації кількох моделей, утворені додаванням і множенням. При застосуванні фізичної моделі можна задавати її параметри, якщо вони вам відомі. Можна дати команду Хѕрес самому визначити параметри, натискаючи Enter на кожний запит значення параметра. Така можливість реалізується в командному файлі трьома пустими рядками.

fit 100 - Виконання ітерацій. Параметри моделі визначаються методом хі-квадрат. За один раз визначити параметри з задовільною точність неможливо, тому необхідно зробити достатню кількість ітерацій, наприклад 100. На термінал будуть виведені параметри моделі, їх похибки, величини хіквадрат і імовірність достовірності статистичної гіпотези, що описується моделлю. Створіть у папці zvit файл spectrum.txt і збережіть у ньому отримані параметри. На початку файлу вкажіть параметри областей джерела і фону, що використовувалися у команді especget.

plot ldata - Побудова графіку спектру (див. Рис. 4.). По осі ординат відкладається густина потоку частинок у логарифмічному масштабі. У нашому випадку спектр зберігається у файл pgplot.gif, доступ до якого можливий лише після виходу з Хѕрес. На графіку ми бачимо, що максимум випромінювання джерела Кентавр Х-З лежить в діапазоні 2-7 кеВ. У ділянці 6.5-7 кеВ добре видно три емісійні лінії іонізованого заліза, які можуть бути апроксимовані гаусівськими профілями (Рис. 5.). У ділянці 1-3 кеВ знаходиться ряд інструментальних ліній, пов'язаний з особливостями будови апаратури XMM. Суцільна лінія, що відображає застосовану модель спектру, неточно відповідає континууму і не враховує лінії заліза. Для точнішої відповідності фізичної моделі даним спостережень необхідно використовувати інші моделі спектру з бібліотеки Хѕрес.

exit - Вихід з Хѕрес. Щоб підтвердити вихід, введіть "у". Перейменуйте файл pgplot.gif у mos2.gif і збережіть його у папці zvit. На цьому завершується мінімальний повноцінний приклад обробки рентгенівського спостереження XMM.

2.6. Додаткові методи обробки спостережень ХММ

2.6.1. Виправлення ефекту накопичення

Спектр джерела для камери MOS2 був побудований без виправлення ефекту накопичення. Позбутися цього ефекту можна, якщо вирізати з області джерела центральний круг, де потік фотонів найбільший і ефект накопичення є суттєвим. Оцінити величину ефекту накопичення можна за допомогою команди epatplot. Ця команда для даного списку подій будує теоретичну залежність кількості одиночних і подвійних подій від енергії і порівнює її з даними спостережень. У випадку значного ефекту накопичення на високих енергіях кількість однофотонних подій буде нижче теоретичної, кількість двофотонних – вище. Команда створює файл з графіками залежностей і виводить на термінал відношення загальної кількості одиночних і подвійних подій до теоретичної. Якщо ці відношення у межах похибки дорівнюють одиниці, ефект накопичення є незначним. Застосуйте команду epatplot до списку подій камери MOS2. У результаті бачимо, що ефект накопичення суттєвий. Тепер створіть новий список фотонів для цієї камери з виключеною центральною областю. Для цього виконайте команду evselect, у виразі якої додайте &&!((X,Y)in circle(,,400)), де знак оклику означає заперечення. Перевірте відсутність ефекту накопичення для нового списку фотонів за допомогою команди epatplot.

2.6.2. Створення матриці перерозподілу енергії у явній формі

Тепер побудуємо спектр рентгенівського пульсара за цим списком фотонів. Розглянемо процедуру побудови спектру докладніше. Замість однієї команди спектр можна отримати за допомогою серії команд, які мають додаткові параметри. Спочатку створіть попередні спектри для областей джерела і фону за допомогою команди evselect. В даному випадку evselect записує у файли src і bkg розподіл фотонів по каналах спектрометра. До кожного з попередніх спектрів треба застосувати команду backscale, яка дозволяє врахувати вплив границь ПЗЗ-чіпів, поганих пікселів і форми вибраної області на кінцевий спектр. Тепер, щоб врахувати функцію відгуку, треба створити допоміжний файл відгуку ARF і файл з матрицею перерозподілу RMF командами arfgen і rmfgen. Остання команда працює найдовше, у деяких випадках більше 10 хвилин. Тепер можна відняти спектр області фону від спектру області джерела і розбити отриманий спектр на енергетичні інтервали за допомогою команди grppha. Зверніть увагу на альтернативний синтаксис grppha: команди у інтерфейс вводяться за допомогою параметра comm. Перезапис існуючого файлу дозволяється параметром clobber.

2.6.3. Додаткові команди Хѕрес

Проаналізуємо новий спектр у Хѕрес. На цей раз ми будемо спочатку виводити спектр на екран. Для цього виконайте cpd /xw. Відкрийте файл зі спектром і застосуйте до нього степеневу модель з поглинанням воднем. На можуть бути окремо представлені відхилення графіку також спостережуваного спектру від моделі (див. наприклад Рис. 5.). Їх можна відобразити командою plot lda del. Такий формат виводу може використовуватися для пошуку ліній у спектрі. Порівняйте параметри моделі з попередніми результатами. Хѕрес може будувати спектр не тільки у вигляді залежності густини потоку частинок від енергії, а і як залежність для густини потоку енергії. Таке представлення краще характеризує джерело випромінювання і для його отримання необхідно врахувати функцію відгуку.

2.6.4. Особливості обробки протяжних джерел

Для побудови зображень і спектрів протяжних джерел у центрі XMM розроблений пакет програм ESAS. Він дозволяє створювати моделі фону для вибраних ділянок детектора, будувати зображення з віднятим фоном і виправленою експозицією а також об'єднувати різні спостереження XMM одного об'єкта.

Особливості ESAS

1. PN камера має сильний низькоенергетичний хвіст невідомої природи. Його вплив проявляється до енергій 600 eB. Tomy ESAS розрахований на роботу з випромінюванням від 300 eB, а для отримання коректних результатів рекомендується обмежувати енергію на 400 eB.

2. Випромінювання м'яких протонних спалахів як правило відкидається вибором хороших інтервалів часу. Але частина випромінювання сонячних протонів впливає на зображення і спектр постійно. Тому його треба моделювати і враховувати.

3. Змінні потоки заряджених частинок сонячного вітру впливають на спостережуваний потік на енергіях до 1.5 кеВ. Їх внесок можна визначити за кривою блиску від усього поля зору в діапазоні до 1.35 кеВ. В спектрі сонячного вітру крім континууму є сильні емісійні лінії, які можуть

становити астрофізичний інтерес, наприклад О VII і О VIII. Інтенсивність цих ліній сильно змінюється з часом.

4. Для побудови моделі фону використовуються всі можливі дані спостережень, у тому числі сигнали з областей, закритих фільтром, неекспоновані кути архівованих спостережень і огляд всього неба супутника ROSAT. З іншого боку, відкидаються спостереження з невідомим фоном і сонячним випромінюванням. Альтернативою до ESAS є метод подвійного віднімання фону, який дає близькі результати.

5. Оскільки поверхнева яскравість протяжних джерел як правило невелика, проводиться бінування зображень з розміром піксела 2.5".

Функції ESAS

1. Виміряти, проаналізувати і виключити різні компоненти фону некосмічного походження.

2. Забезпечити автоматизований метод обробки даних спостережень протяжних джерел.

3. Забезпечити засоби об'єднання зображень протяжних джерел.

Посібник з використання ESAS можна завантажити за адресою:

ftp://xmm.esac.esa.int/pub/xmm-esas/xmm-esas.pdf



Рис. 1. Попередні зображення рентгенівського пульсара Кентавр X-3, отримані на камерах EPIC супутника XMM.



Рис. 2. Криві блиску Кентавра Х-З. Зростання потоку в кінці спостереження обумовлене сонячним спалахом.



Рис. 3. Зображення джерела, побудовані на основі фільтрованих списків фотонів. а) Гістограма для центрального чіпа камери MOS1, що працював у режимі Timing.

б) Зображення камери MOS2 з виділеними областями джерела і фону.

в) Зображення з активного фрагмента камери PN.





Рис. 4. Спектр джерела Кентавр Х-3.

data and folded model



Рис. 5. Ділянка спектру 6-8 кеВ з емісійними лініями іонізованого заліза.

2.7. Командний файл xmm.csh

echo '***' 2.1. Creating event lists csh source /virgo/scripts/login.csh setenv ID /unsaved_data2/virgog1/0111010101 setenv SAS_MEMORY_MODEL high setenv SAS_VERBOSITY 1 setenv SAS_ODF \${ID}/ODF cd \${ID}/ODF gunzip *.gz cd .. echo '***' Starting cifbuild... cifbuild setenv SAS_CCF \${ID}/ccf.cif echo '***' Starting odfingest... odfingest setenv SAS_ODF `\ls \${ID}/*SUM.SAS` echo '***' Starting emproc... emproc echo '***' Starting epproc... epproc mv *MOS1*ImagingEvts.ds mos1.fit mv *MOS1*TimingEvts.ds most1.fit mv *MOS2*ImagingEvts.ds mos2.fit mv *PN*ImagingEvts.ds pn.fit echo '***' 2.2. Filtering and obtaining products csh source /virgo/scripts/login.csh setenv ID /unsaved_data2/virgog1/0111010101 setenv SAS_MEMORY_MODEL high setenv SAS_VERBOSITY 1 setenv SAS_CCF \${ID}/ccf.cif setenv SAS_ODF `\ls`\${ID}/*SUM.SAS` cd \${ID} echo '***' 2.2.1. Create raw MOS and PN lightcurves evselect table=mos1.fit:EVENTS withrateset=yes rateset=mos1-ra.fit maketimecolumn=yes makeratecolumn=yes timebinsize=100 evselect table=most1.fit:EVENTS withrateset=yes rateset=most1-ra.fit maketimecolumn=ves makeratecolumn=ves timebinsize=100 evselect table=mos2.fit:EVENTS withrateset=yes rateset=mos2-ra.fit maketimecolumn=yes makeratecolumn=yes timebinsize=100 evselect table=pn.fit:EVENTS withrateset=yes rateset=pn-ra.fit maketimecolumn=yes makeratecolumn=yes timebinsize=100 echo '***' 2.2.2. Find maximum rate for source and good time intervals tabgtigen table=most1-ra.fit expression='RATE<=16' gtiset=gti1.fit</pre> tabgtigen table=mos2-ra.fit expression='RATE<=13' gtiset=gti2.fit tabgtigen table=pn-ra.fit expression='RATE<=39' gtiset=gti.fit echo '***' 2.2.3. Filter the MOS data with standard parameters as well as a time selection to exclude most of the background flaring echo '***' Parameters PATTERN 0-12 (CCD event grade), FLAG = 0, PI 200-12000 table=mos1.fit:EVENTS evselect withfilteredset=yes expression='(gti(gti1.fit,TIME)&&(PATTERN <= 12)&&(FLAG == 0)&&(PI in [200:12000]))' filteredset=mos1-filt.fit filtertype=expression keepfilteroutput=yes evselect table=mos2.fit:EVENTS withfilteredset=yes expression='(gti(gti2.fit,TIME) &&(PATTERN <= 12)&&(FLAG == 0)&&(PI in [200:12000]))' filteredset=mos2-filt.fit filtertype=expression keepfilteroutput=ves echo '***' Filter the data with standard parameters PATTERN 0-4 (CCD event grade), FLAG = 0, PI 150-15000 evselect table=pn.fit:EVENTS withfilteredset=yes expression='(gti(gti.fit,TIME)&&(PATTERN == 0)&&(FLAG == 0)&&(PI in [150:15000])' filteredset=pn-filt.fit filtertype=expression keepfilteroutput=yes

echo '***' 2.2.4. Create filtered MOS and PN images table=most1-filt.fit:EVENTS evselect withhistogramset=yes histogramcolumn=RAWX histogramset=most1-filt-im.fit table=mos2-filt.fit:EVENTS withimageset=yes imageset=mos2-filt-im.fit evselect xcolumn=X ycolumn=Y imagebinning=imageSize ximagesize=600 yimagesize=600 evselect table=pn-filt.fit:EVENTS withimageset=yes imageset=pn-filt-im.fit xcolumn=X ycolumn=Y imagebinning=imageSize ximagesize=600 yimagesize=600 echo '***' 2.2.5. Create MOS2 spectrum especqet table=mos2-filt.fit filestem=mos2 srcexp='(X,Y) IN CIRCLE (26000,24000,3000)' backexp='(X,Y) IN CIRCLE (32000,24000,3000)' grppha << E mos2_src.ds !mos2.grp group min 50 exit Е xspec cpd /gif setplot energy data mos2.grp ignore 0.0-0.2 ignore bad model powerlaw*phabs fit plot ldata exit у echo '***' 2.3. More possibilities: Building MOS2 spectrum without pile-up evselect energycolumn=PI specchannelmax=11999 specchannelmin=0 expression='((X,Y) in circle(26361,23882,720))' updateexposure=yes spectralbinsize=15 spectrumset=mos2source.pi table=mos2-filt.fit:EVENTS withspecranges=yes withspectrumset=yes backscale spectrumset=mos2-source.pi badpixlocation='mos2-filt.fit' withbadpixcorr=yes useodfatt=no evselect energycolumn=PI specchannelmax=11999 specchannelmin=0 expression='!((X,Y) in circle(26361,23882,1500))&&((X,Y) in circle(26361,23882,3000))' spectralbinsize=15 table=mos2-filt.fit:EVENTS spectrumset=mos2-back.pi updateexposure=yes withspecranges=yes withspectrumset=yes backscale spectrumset=mos2-back.pi badpixlocation='mos2-filt.fit' withbadpixcorr=yes useodfatt=no format='var' rmfset='mos2-source.rmf' spectrumset='mos2-source.pi' rmfaen threshold=1.e-6 arfset='mos2-source.arf' extendedsource=no psfenergy=5 arfgen modelee=yes rmfset='mos2-source.rmf' spectrumset='mos2-source.pi' withrmfset=yes withbadpixcorr=yes badpixlocation=mos2-filt.fit modelootcorr=yes grppha mos2-source.pi mos2-source.grp comm='chkey RESPFILE mos2-source.rmf & chkey ANCRFILE mos2-source.arf & chkey BACKFILE mos2-back.pi & group 50 & exit' clobber=yes PN regions: (26361,23882,720)

'!((X,Y) in circle(26361,23882,1500))&&((X,Y) in circle(26361,23882,3000))'

3. Основи аналізу даних супутника INTEGRAL за допомогою програмного забезпечення <u>OSA</u> (Offline Scientific Analysis)

INTEGRAL — унікальний супутник, розрахований на астрономічні спостереження в діапазоні від 15 кеВ до 10 МеВ (жорсткий рентгенівський і м'який гамма-діапазон). Фокусування фотонів таких енергій неможливе, тому для побудови зображень використовується так званий принцип кодуючої маски. Він полягає у тому, що апертура телескопа перекрита граткою складної форми, від якої гамма-джерела створюють тінь на ПЗЗдетекторі. Спеціальне програмне забезпечення OSA (Offline Scientific Analysis Software) використовується для відновлення за зображенням тіні кількості, яскравості і координат джерел. Це складна математична задача, тому за весь час роботи (з 2002 року) INTEGRAL виявив всього біля 500 джерел, які, за рідкісними виключеннями, розглядаються як точкові.

Нижче подається адаптована версія посібників [8,9] з використання даних приладу IBIS/ISGRI, що є головним приладом встановленим на супутнику INTEGRAL. Основні спостереження ISGRI виконуються в діапазоні до 60 кеВ. Формально ISGRI здатен реєструвати фотони аж до 10 MeB, але ефективність цього приладу в діапазоні вище 1 MeB в 100 разів гірша, ніж на енергіях до 100 кеВ. Мета даного розділу - дати уявлення користувачеві про процес обробки даних починаючи від їх завантаження і закінчуючи отриманням учбового результату (зображення об'єкта, його спектру та/або кривої блиску). Для детальної інформації користувач повинен ознайомитись з оригіналами посібників [8, 9].

3.1. Завантаження даних

Для роботи з OSA необхідно мати не менше 10 Гб вільного місця на жорскому диску. Для цього кожен постійний користувач класу VIRGO.UA повинен звернутися до адміністратора та попросити його створити папку з вашим логіном у директорії /unsaved_data/. Об'єм даних, що може міститися у цій папці, є достатнім для роботи з OSA, але не тримайте тимчасові файли згенеровані OSA там занадто довго, адже це папка, що передбачена для тимчасового користування під час аналізу. Фінальні результати збережіть на приватний носій інформації. Адміністратор класу не несе відповідальність за збереження інформації в цій папці і якщо даною папкою не користувались тривалий час, дані у ній будуть видалені.

Дані про об'єкт, що вас цікавить можна отримати різними способами.

Перший - з домашньої сторінки бази спостережень супутника INTEGRAL.

Робиться це наступним чином:

- 1. У полі Object name or Coordinates вводиться назва об'єкта або його координати
- 2. У полі What types of information do you want to search for? вибираємо яку саме інформацію потрібно отримати
- 3. Натискаємо на кнопку More Option, і далі Specify Additional Parameters
- 4. На новій сторінці появиться колонка з багатьма параметрами. Найчастіше використовуються поля scw_type (значення pointing), obs_type (значення general), ps (значення public) та good_isgri (значення >5000). Вибираємо потрібні значення полів та натискаємо Start Search
- 5. На сторінці, яка виникла, вибираємо потрібні scw і навпроти них ставимо галочки. Прокручуємо внутрішнє поле списів scw до кінця та натискаємо Request або Prewiew and Request
- 6. Виконуємо інструкції бази даних для того, щоб завантажити дані

Другий спосіб - використовуючи базу даних NASA <u>HEASARC</u>

- 1. У полі Object name or Coordinates вводиться назва об'єкта або його координати, а із списку місій ставиться галочка навпроти напису INTEGRAL
- 2. У полі What types of information do you want to search for? вибираємо яку саме інформацію потрібно отримати
- 3. Натискаємо на кнопку Detailed Mission/Catalog Search, і далі Specify Additional Parameters
- 4. На новій сторінці появиться колонка з багатьма параметрами. Найчастіше використовуються поля scw_type, obs_type, status та good_isgri. Вибираємо потрібні значення полів та натискаємо Start Search
- 5. На сторінці, яка виникла, натискаємо intscwpub:INTEGRAL Public Pointed Science Window Data вибираємо потрібні scw і навпроти них ставимо галочки. Прокручуємо внутрішнє поле списків scw до кінця та натискаємо Show current rows selected for Data Products Retrieval і далі Request aбo Prewiew and Request
- 6. Після виконаних дій формується архів із запрошеною вами інформацією з прямим посиланням на скачування у вигляді http://heasarc.gsfc.nasa.gov/FTP/retrieve/w3browse/w3browse-*.tar

Для полегшення скачування даних, наші користувачі можуть скористатися локальним архівом даних, що знаходиться в ITФ на сайті <u>http://virgo.bitp.kiev.ua/index.php?lang=ua&mfc=data</u>.

Дочекайтесь кінця завантаження. Тепер ваші дані збережені у папці /*unsaved_data/your_login/OBJECT_DATA* і ви можете розпочинати роботу з ними.

3.2. Початок аналізу

Перед початком роботи з OSA потрібно запустити термінал Лінукса та виконати наступні команди, які ініціюють необхідні для роботи змінні оточення.

Перехід до папки, де відбуватиметься аналіз:

cd /unsaved_data/your_login/

Встановлення цієї папки у змінну, з якою працює OSA:

setenv REP_BASE_PROD \$PWD

Під'єднання службових папок у папку, де відбуватиметься аналіз:

ln -s /virgo/arc/cat cat ln -s /virgo/arc/ic ic ln -s /virgo/arc/aux aux ln -s /virgo/arc/idx idx

OSA вважає, що всі дані знаходяться в папці scw, тому дані, що ви завантажили потрібно теж під'єднати у папку, де відбуватиметься аналіз:

ln -s OBJECT_DATA scw

Необхідна річ – логфайл:

setenv COMMONLOGFILE +log

Встановлення змінних оточення класу ВІРГО:

source /virgo/scripts/login

Тепер можна розпочинати роботу з OSA.

3.3. Отримання зображення

Елементарний блок даних в нашому аналізі – scw (англ. science window або scw скорочено) – одне спостереження. Одне спостереження триває декілька кілосекунд і один об'єкт, як правило, спостерігається сотні разів. Таким чином сумарна експозиція одного об'єкта може становити декілька сотень кілосекунд. ОSA працює з групою спостережень, яку створюють наступною командою:

og_create \ idxSwg=OBJECT.lst \ ogid=OBJECT \ baseDir="./"\ instrument=IBIS

Символ "\" використовують коли потрібно (або бажають) розбити одну команду на декілька рядків. В даному випадку зручніше бачити аргументи команди. Слово OBJECT – довільне і позначає назву вашого об'єкта. Файл OBJECT.lst – саме той, що ви зберегли тоді, коли завантажували дані. Після виконання цієї команди у папці, де ви працюєте з'явится папка obs, а у ній папка OBJECT. Саме у цю папку потрібно перейти, щоб продовжити аналіз:

cd \$REP_BASE_PROD/obs/OBJECT

та запустити команду

ibis_science_analysis

	ibis_science_analysis		•
Main startLevel endLevel GENERAL level ist	: COR 💌 : IMA2 💌	Þ.	<u>S</u> ave As Load <u>R</u> eset <u>R</u> un Quit
CAT_refCat SWITCH_disableIsgri	\$ISDC_REF_CAT[ISGRI_FLAG==1]	browse	Help hidden
SWITCH_disablePICsIT SCW1_GTI_gtiUseri SCW1_GTI_TimeFormat SCW1_GTI_BT_Names	: ♥ : IJD ♥ : IBIS_CONFIGURATION IBIS_BOOT ISGRI_RISE_TIME VETO_PRCBLEM SOLAR_FL	browse	
	ISGRI SPE and LCR	PICsi	T analysis

Рис. 6. Головне вікно OSA (інструмент IBIS)

Через декілька секунд з'явиться головне вікно OSA (см. Рис. 6), в якому можна зазначити основні параметри, що буде використовувати скрипт ibis_science_analysis. Далі наводяться значення основних параметрів, що використовуються при аналізі. startLevel — початковий рівень, з якого починають аналіз (зазвичай починають аналіз з рівня COR – корекція даних); endLevel — кінцевий рівень аналізу (для побудови забраження потрібно обрати рівень IMA); GENERAL levelList – загальний перелік рівнів аналізу (залишається незмінним); CAT_refCat – каталог об'єктів, який використовує OSA під час роботи (може бути як стандартний, так і власний, зроблений спостерігачем). Для початку роботи обирають стандартний каталог, що задається змінною \$ISDC_REF_CAT[ISGRI_FLAG==1], де у квадратних дужках вказується, що з цього каталогу вибираються лише ті джерела, що задетектовані детектором ISGRI); SWITCH_disableIsgri – залишаємо поле пустим (означає, що ми не вимикаємо обробку даних детектора ISGRI); SWITCH disablePICsIT – ставимо галочку (означає, що ми вимикаємо обробку даних детектора PICsIT); SCW1 GTI gtiUserl – це поле вказує на перелік «добрих інтервалів часу» (зазвичай використовується при аналізі гамма-спалахів або при аналізі кривої блиску об'єкта на інтервалі часу, що є меншим за час одного спостереження, тобто експозиції одного scw. Для звичайного аналізу залишаємо це поле пустим); SCW1_GTI_TimeFormat – формат часу (подається, якщо попереднє поле не є пустим і використовує відмінний від стандартного для OSA формат. Стандартний формат IJD, що означає INTEGRAL Julian Day). SCW1_GTI_BTI_Names – цей параметр включає назви усі «поганих інтервалів часу», які повинні бути викинуті з аналізу (час сонячних спалахів, і т.д.). Залишається незмінним.

Тепер потрібно виставити значення параметрів, що відносяться до побудови зображення. Для цього натисність на кнопку ISGRI IMA і перед вами з'явиться вікно з параметрами, які використовує OSA при побудові зображень (Рис. 7).

000	🔀 ISGRI IMA		
ISGRI IMAGING			
IBIS_II_ChanNum:	4		Terb
IBIS_II_E_band_min:	20 40 60 100		
IBIS_II_E_band_max:	40 60 100 200		
IBIS_II_inEnergyValues:		browse	
OBS1_SearchMode:	2 🗄		
OBS1_ToSearch:	15		
OBS1_MinCatSouSnr:	6 🚽		
OBS1_MinNewSouSnr:	7		
OBS1 DoPart2	14		
OPS1 PivSpread			
CIBS L SOUEIT			
SCW1_BKG_I_isgrBkgDol:		browse	
brSrcDOL:	\$ISDC_REF_CAT[ISGRI_FLAG==1&&ISGR_FLUX_1>100]	browse	

Рис. 7 Вікно с параметрами побудови зображення.

Далі наводяться значення основних параметрів, що використовуються при отриманні зображення. IBIS II ChanNum – кількість діапазонів енергії в яких буде отримуватись зображення (наприклад, 4); IBIS II E band min мінімальні значення енергії кожного діапазону; IBIS II E band max – максимальні значення енергії кожного діапазону (зверніть увагу, що мінімальне значення енергії наступного діапазону дорівнює максимальному значенню енергії попереднього діапазону); IBIS_II_inEnergyValues – цей параметр використовується коли ви бажаєте отримати зображення у більш ніж 10 діапазонах. Параметр вказує на матрицю rmf (Response Matrix Function) — відповідність між каналами приймача та діапазонами енергії; OBS1_SearchMode – режим пошуку джерел (в даному випадку OSA буде шукати кількість джерел у полі зору інструмента, що задається наступним параметром); OBS1 ToSearch – кількість джерел, які повинна знайти OSA у полі зору (в даному випадку 15); OBS1_MinCatSouSnr – мінімальне значення в одиницях сігма (статистичне відхилення) для джерел, що знаходяться у каталозі OSA (в даному випадку 6); OBS1_MinNewSouSnr – мінімальне значення в одиницях сігма (статистичне відхилення) для нових джерел, що знайшла OSA (в даному випадку 7); OBS1_DoPart2 – цей параметр вказує OSA чи робити їй мозаїку зображення об'єкта чи ні. В даному випадку стоїть значення 1, тобто робити (OSA спочатку робить зображення для кожного scw окремо, а потім за бажанням користувача додає всі зображення. Таким чином збільшується експозиція і об'єкт детектується з більшою достовірністю. Таке зображення називається мозаїка); OBS1_pixSpread – зазвичай дорівнює 1 і означає, що усі фотони, що належать джерелу, будуть розкидані навколо центрального піку (гаусіана); OBS1_SouFit – зазвичай дорівнює 0 і означає, що положення усіх джерел з каталогу буде зафітовано (підібрано); SCW1_BKG_I_isgrBkgDol – зазвичай це поле залишають пустим. Це означає, що ви використовуєте стандартну карту фону; brSrcDOL – цей параметр означає, що усі яскраві об'єкти, які задетектовані ISGRI і мають потік >100 фот./с, мають братись до розрахунку під час обчислення нормалізації фону.

Тепер усі параметри виставлені. Натисність ОК. Вікно зображення зникне. Натисніть Run і чекайте на кінець обчислень.

Шоб роботи відкрийте файл подивитись на результат isgri mosa ima.fits, буде папці що знаходитись y \$REP BASE PROD/obs/OBJECT. Для користуватись цього зручно програмою ds9. Для більшої зручності локалізації об'єкта, перед тим як відкривати файл з мозаїкою, виконайте наступні команди (вони створять файл found.reg, в який входитимуть знайдені об'єкти і який потім можна завантажити у програмі ds9):

cd $REP_BASE_PROD/obs/OBJECT cat2ds9 isgri_mosa_res.fits\[2] found.reg symbol=box <math display="inline">\ \ color=green \ cat2ds9 \ isgri_catalog.fits\[1] \ cat.reg \ symbol=box \ color=white$

Щоб подивитись на мозаїку виконайте команду:

 $REP_BASE_PROD/obs/OBJECT/isgri_mosa_ima.fits[4] -region$

\$REP_BASE_PROD/obs/OBJECT/found.reg\ -cmap b -scale sqrt -scale limits 0 60 -zoom 2

Тепер подивіться на зображення. Іноді при аналізі яскравого об'єкта на відстані 10.7 градуса з'являються нові джерела, або навіть яскраві кола. Це так звані джерела «привиди» і вони не є реальними.

Файл зображення складається з чотирьох розширень на кожний діапазон енергії. Для простоти, запам'ятайте, що розширення, яке вам потрібне

isgri_mosa_ima.fits[4*n],

де n = 1,2 … і позначає номер діапазону енергії (з границями закладеними у аналізі). В цьому розширенні міститься статистична значимість детектування джерела. Як правило ця величина має значення порядку сотень для яскравих об'єктів і одиниць-десятків для слабких.

3.4. Отримання спектру

В даному розділі описано основні кроки отримання спектру з стандартною матрицею rmf. Зверніть увагу, що усі джерела в полі зору (див. рисунок отриманий на попередньому кроці) з яскравістю більшою або рівною яскравості вашого джерела повинні братись до уваги. Це є специфікою інструменту та OSA. В той же час наявність у аналізі більше ніж 30 джерел може призвести до проблем в роботі OSA. Тому першим кроком є створення каталогу, в якому будуть знаходитись найяскравіші об'єкти та ваш об'єкт. Це робиться наступними командами:

cd \$REP_BASE_PROD/obs/OBJECT

fcopy "isgri_srcl_res.fits[ISGR-SRCL-RES][DETSIG >= 6.0]"\ specat.fits

Таким чином ви створюєте новий файл specat.fits, в якому будуть знаходитись усі об'єкти, знайдені у полі зору зі значимістю детектування понад 6. Подивіться на цей каталог програмою fv:

fv specat.fits

Якщо в даному списку буде більше 30 об'єктів, то видаліть усі, значимість яких менша значимості вашого об'єкта. Після цього зробіть цей каталог придатним лише до читання:

chmod -w specat.fits

Тепер знов запустіть головний скрипт:

ibis_science_analysis

У головному вікні оберіть початковий рівень BIN_S, а кінцевий SPE. Натисніть кнопку ISGRI SPE and LCR. Незабаром з'явиться вікно з параметрами для отримання спектру та кривих блиску (Рис. 8). Далі наводяться значення основних параметрів, що використовуються при отриманні спектру. IBIS_SI_inEnergyValues – залишіть поле пустим (ви використовуєте стандартну матрицю rmf); SCW2_BKG_I_isgrBkgDol – залишіть поле пустим (ви використовуєте стандартну карту фону); SCW2_cat_for_extract – оберіть щойно створений каталог джерел, спектр яких порібно отримати.

ISGRI_SPE_and LCR		
SGRI Spectral extraction and light curve		<u>k</u>
IBIS_SI_inEnergyValues:	browse	<u>H</u> elp
SCW2_cat_for_extract:	browse	
SCW2_BKG_L_isgrBkgDol:	browse	
ILCR_num_e: 4		
ILCR_e_min: 20 40 60 100		
ILCR_e_max: 40 60 100 200		
ILCR_delta_t: 100 曼		

Рис. 8 Вікно з параметрами для отримання спектру та кривих блиску.

Інші параметри будуть описані в наступному кроці отримання кривих блиску. Натисність кнопку ОК та Run. Дочекайтесь кінця розрахунків. Після закінчення розрахунків буде створений файл:

scw/XXXXXXXXXXX.001/isgri_spectrum.fits,

де XXXXXXXXXXX – номер scw. В цих файлах містяться спектри усіх джерел вашого каталогу, а також фону для даного scw. Вони знаходяться у відповідних розширеннях. Для покращання відношення сигнал/шум, ці

спектри складаються, і отримується один усереднений спектр для цілої групи спостережень (ycix scw, що містяться у файлі og_ibis.fits). Це робиться командою:

cd \$REP_BASE_PROD/obs/OBJECT spe_pick group="og_ibis.fits[1]" source="name_of_OBJECT"\ rootname=OBJECT

В результаті ви отримаєте файл OBJECT_sum_pha.fits, в якому і буде просумований усереднений спектр вашого об'єкта. Для того, щоб подивитись на спектр, використовується програма XSPEC. Робиться це наступними командами:

cd \$REP_BASE_PROD/obs/OBJECT

fparkey 0.02 OBJECT _sum_pha.fits SYS_ERR add=yes

xspec cpd /xw data OBJECT _sum_pha.fits arf ../../ic/ibis/rsp/isgr_arf_rsp_0020.fits setpl energy ign 300.-** plot ldata

Нижче 22.5 кеВ спектр ISGRI не є придатним для використання. Це ж стосується енергій вище 300 кеВ. Приклад спектру об'єкта зображений на Рис.9.



Рис.9 Спектр масивної рентгенівської подвійної 4U1700-377

35

3.5. Отримання кривої блиску

Криву блиску логічно отримувати після попереднього кроку, адже цей крок використовує файли створені під час отримання спектру. Отже, запустіть головний скрипт:

ibis_science_analysis

У головному вікні оберіть початковий і кінцевий рівні - LCR. Натисніть кнопку ISGRI SPE and LCR для виклику вікна з параметрами для отримання спектру та кривих блиску (Рис. 8). Залишіть ваш каталог specat.fits у параметрі SCW2_cat_for_extract. Далі наводяться значення основних параметрів, що використовуються при отриманні кривої блиску. ILCR_num_e – кількість діапазонів енергії в яких ви бажаєте отримати криву блиску (зазвичай діапазони та кількість такі самі як для отримання зображень); ILCR_e_min – мінімальні значення енергії кожного діапазону; ILCR_e_max – максимальні значення енергії кожного діапазону (зверніть увагу, що мінімальне значення енергії наступного діапазону дорівнює максимальному значенню енергії попереднього діапазону); ILCR_delta_t – роздільна здатність по часу (наприклад 100 сек).

Натисність кнопку ОК та Run. Дочекайтесь кінця розрахунків.

Криві блиску створяться для кожного scw у файлі

scw/XXXXXXXXXXXX.001/isgri_lcr.fits,

де XXXXXXXXXXX – номер scw. Щоб скласти криві блиску джерела в певному діапазоні енергії в один файл потрібно виконати наступну команду:

lc_pick source='OBJECT' attach=n \ group=og_ibis.fits+1 lc=OBJECT.fits emin="20" emax="40"

Результат запишеться у файл OBJECT.fits. Для того, щоб подивитись на криву блиску, зручно користуватись програмою lcurve з пакету FTOOLS. Після виконання команди lcurve ви будете отримувати запитання, відповіді на які стоять після квадратних дужок. В результаті ви отримуєте ps файл, де буде знаходитись крива блиску. Отже, це робиться командами:

lcurve Number of time series for this task[] 1 Ser. 1 filename +options (or @file of filenames +options)[] OBJECT.fits[2] Name of the window file ('-' for default window)[] - Newbin Time or negative rebinning[] 100 Number of Newbins/Interval[] 95 Name of output file[default] Do you want to plot your results?[] yes Enter



Приклад кривої блиску зображений на Рис. 10

Рис. 10 Крива блиску 4U1700-377.

Подяки

Автор дякує к.ф.-м.н. І.О.Тєлєжинському за дозвіл використати у посібнику його виклад методики обробки спостережень приладу ISGRI супутника INTEGRAL. Колектив VIRGO.UA вдячний співробітникам швейцарського центру обробки даних супутника INTEGRAL (ISDC) за створення і всебічне сприяння розвитку Української віртуальної рентгенівської і гаммаобсерваторії.

Література

- 1. Лонгейр М.С. Астрофизика высоких энергий. 1984. М.:Мир, 396 с.
- 2. Нагирнер Д.И. Радиационные механизмы в астрофизике. Учебное пособие. Изд-во СПбГУ, 2007, 296 стр.
- 3. The XMM-Newton ABC Guide: An Introduction to XMM-Newton Data Analysis. 2009. (ftp://legacy.gsfc.nasa.gov/xmm/doc/xmm_abc_guide.pdf)
- 4. XMM-Newton Users Handbook. 2009. (ftp://legacy.gsfc.nasa.gov/xmm/doc/XMM_UHB.pdf)
- 5. User's Guide to the XMM-Newton Science Analysis System. 2007. (ftp://legacy.gsfc.nasa.gov/xmm/doc/SAS_USG.pdf)
- 6. Xspec. An X-Ray Spectral Fitting Package. User's Guide. 2010. (http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xanadu/xspec/XspecManual.pdf)
- 7. Xronos. A Timing Analysis Software Package. User's Guide. 2009. (ftp://legacy.gsfc.nasa.gov/software/lheasoft/release/doc/xronos/ xronos_manual.ps.gz)
- Introduction to the INTEGRAL Data Analysis. 2005. (http://isdcul3.unige.ch/Soft/download/osa/osa_doc/ osa_doc-9.0/osa_um_intro-5.1.pdf)
- 9. IBIS Analysis User Manual. 2010. (http://isdcul3.unige.ch/Soft/download/osa/osa_doc/ osa_doc-9.0/osa_um_ibis-9.2.pdf)

Зміст

1. Вступ	3
2. Обробка спостережень супутника XMM-Newton	5
2.1. Основні особливості ХММ	5
2.2. Порівняння ХММ з іншими рентгенівськими телескопами	6
2.3. Завантаження даних і отримання списків подій	6
2.3.1. Рентгенівський пульсар Кентавр Х-З	7
2.3.2. Процедура отримання даних спостережень	8
2.4. Фізичні процеси, які викликають технічні ефекти пр	ои обробці
спостережень ХММ	10
2.4.1. Позачасові події	10
2.4.2. М'які протонні спалахи	10
2.4.3. Ефект накопичення	11
2.4.4. Перерозподіл енергії	13
2.5. Побудова зображень, кривих блиску і спектрів	14
2.6. Додаткові методи обробки спостережень ХММ	19
2.6.1. Виправлення ефекту накопичення	19
2.6.2. Створення матриці перерозподілу енергії у явній формі	19
2.6.3. Додаткові команди Хѕрес	20
2.6.4. Особливості обробки протяжних джерел	20
2.7. Командний файл xmm.csh	25
3. Основи аналізу даних супутника INTEGRAL за допомогою п	рограмного
забезпечення <u>OSA</u> (Offline Scientific Analysis)	27
3.1 Завантаження даних	27
3.2 Початок аналізу	28
3.3 Отримання зображення	29
3.4 Отримання спектру	33
3.5 Отримання кривої блиску	35
Література	38