

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف - المسيلة

ميدان: علوم المادة.
فرع: الفيزياء.
تخصص: فيزياء نظرية.



كلية: العلوم.
قسم: الفيزياء.
رقم: Ph/TH/11/2020

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبتان: مرزوقي عفيفة، لمين سلسبيل

تحت عنوان

دراسة التغيرات الزمنية لنواة المجرة النشطة
NGC 7314

تمت المناقشة يوم	/ 09 / 2020 أمام اللجنة المكونة من:	رئيسا
أ. مجدل صهيب	جامعة محمد بوضياف المسيلة	مشرفا و مقررا
أ. قالي سهام	جامعة محمد بوضياف المسيلة	مناقشا
أ. بعجي نجيب	جامعة محمد بوضياف المسيلة	

السنة الجامعية: 2019/2020

شكر وتقدير

قال الله تعالى (وَمَنْ يَشْكُرْ فَإِنَّمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ) (لقمان:12).

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: 'من لم يشكر الناس، لم يشكر الله'.

نحمد الله عزَّ وجل الذي ألهمنا الصحة والعافية والعزيمة، ووفقنا في إتمام هذا البحث الذي نرجو أن ينال رضاه.

لا يسعنا بعد إنهاء هذا البحث إلا أن نتوجه إلى أستاذتنا الفاضلة والمشرفة على بحثنا الأستاذة **قالي سهام** بجزيل الشكر والتقدير وعظيم الامتتان، والتي لن نقيها أي كلمات حقها، على المعاملة الطيبة التي خصتنا بها ومسايرتها لنا وصبرها طيلة إشرافها على هذه المذكرة، وعلى كل ما قدمته لنا من توجيهات ونصائح ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا، فلولا مثابرتها ودعمها المستمر لنا لما تم هذا العمل، جعلها الله في ميزان أعمالها.

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى أعضاء اللجنة المناقشة الأستاذ **مجدل صهيب** والأستاذ **بعجي نجيب** الذين تفضلا بقراءة هذه المذكرة.

و نتقدم بجزيل الشكر إلى كل أساتذتنا الذين تتلمذنا على أيديهم في كل مراحل دراستنا، خاصة أساتذة قسم الفيزياء النظرية "جامعة المسيلة".

وفي الأخير نشكر كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذه المذكرة.

إهداء

الحمد لله الذي وفقني لثمين هذه الخطوة في مسيرتي الدراسية حمداً كثيراً طيباً.

أهدي ثمرة جهدي ونتاج بحثي إلى أعلى ما أملك في حياتي أمي لمين جميلة وأبي محمد الصالح، نبع الحنان والعطاء، قدوتي وقوتي في الحياة، من ينيران لي دربي، من يسعيان جاهدين إلى تربيتي وتعليمي، من يجودان علي بكل شيء ولا يبخلان، من كانا سببا في وصولي إلى كتابة هذه الكلمات وتحصيل هذا النجاح حفظهما الله ورعاهما وأدامهما تاجاً فوق رأسي ونوراً لدربي.

إلى أخي العزيز محمد الفاتح وأخواتي الغاليات نور الحياة، نور الهدى، نزيهة والمدللة نور البدر وبرعم العائلة ابن أختي زكريا حفظهم الله ورعاهم ووفقهم لما يحب ويرضى.
إلى كل عائلتي.

إلى كل من علمني حرفاً وأزال غيمة جهل مررت بها وأخذ بيدي في سبيل تحصيل العلم والمعرفة.

إلى كل زميلاتي وزملائي في كامل مشواري الدراسي وخاصة صديقتي معطوي خديجة.
وأسأل الله أن يجعله نبراساً لكل طالب علم يسعى لإثراء رصيده العلمي والمعرفي.

لمين سلسبيل

إهداء

بسم الله والصلاة والسلام على رسول الله، أهدي نجاحي وتخرجي لمن لهم الفضل في ذلك بعد فضل من الله:

إلى من أمضى وقته في الكد والعمل ليرسم لنا طريقا ممهدا نحو المستقبل... إلى من سعى لأجل راحتي ونجاحي.... إلى أعظم وأعز رجل في الكون أبي العزيز "إبراهيم" أدامك الله ورعاك وأطال عمرك بالخير.

إلى من نذرت حياتها لنا فنسيت بذلك نفسها... إلى أعظم هبة وهبها الله لي... إلى كل من في الوجود بعد الله ورسوله أمي الغالية "ميمية مرزوقي" حفظك الله ورعاك وجزاك عنا كل الخير.

إلى من كان لهم بالغ الأثر في كثير من العقبات والصعاب... إلى سندي وقوتي وملاذي في الحياة... إلى رياحين حياتي أختي حبيبتي "أسماء ونور الهدي". وإلى حبيبي، صديقي، رفيق عمري وأخي الوحيد "محمد عاصي" بارك الله فيكم يا كل فخري وأدام السعادة في قلوبكم.

إلى من سرنا سويا ونحن نشق الطريق معا... إلى جميع الأهل والأصدقاء العزيزين على قلبي وإلى من كانوا برفقتي ومصاحبتي أثناء دراستي في الجامعة وخاصة زملائي في قسم الفيزياء النظرية وصديقاتي في زاوية خالد بن الوليد "حمام الضلعة" وعلى رأسهم أستاذتي ومعلمتي للقرآن "زكية" جزاها الله ألف خير على مجهوداتها.

إلى كل اساتذتي من مرحلة الابتدائي الى مرحلة التخرج الذين تعلمنا منهم الكثير والكثير... إلى كل طالب علم يسعى لكسب المعرفة وتزويد رصيده المعرفي... إلى من دعا لي بظهر الغيب دعوة... إلى كل شخص وقف بجانبني وساعدني...

وفي الأخير أقدم هذا المجهود تكريما لذاتي التي تأرجحت بين الخطأ والصواب لتعلم أن الحظ لم يكن معي يوما بل كان الله معي دوما.

مرزوقي عفيفة

تم بحمد الله



فهرس

شكر وتقدير

إهداء

مقدمة عامة

1

الفصل الأول: الثقوب السوداء

2

1.1 مقدمة

2

2.1 الثقوب السوداء (*Black Holes*)

2

1.2.1 مفاهيم حول الثقوب السوداء

4

2.2.1 هالة الثقب الأسود (*Corona of black hole*)

4

3.2.1 رصد الثقوب السوداء

5

4.2.1 الثقب الأسود في مركز درب التبانة

6

3.1 المجرات النشطة (*Active Galaxies*)

6

1.3.1 خصائص المجرات النشطة

7

2.3.1 نوى المجرات النشطة (*AGN*)

13

4.1 إصدار الأشعة السينية

الفصل الثاني: تقنيات الرصد وتحليل البيانات للمجرات

15

1.2 مقدمة

15

2.2 وصف أجهزة وتقنيات الرصد

22

3.2 البيانات

23

4.2 طريقة استخراج بيانات مرصد XMM-Newton

الفصل الثالث: الدراسة الزمنية للمجرة NGC7314

30

1.3 مقدمة

30

2.3 المجرة NGC 7314

30	3.3 خواص البيانات المختارة للدراسة
31	4.3 طرق تحليل فورييه (<i>Fourier analysis techniques</i>)
32	5.3 طيف التقاطع والتأخر الزمني (<i>The cross spectrum and Time delay</i>)
33	6.3 التماسك والأخطاء (<i>The coherence and errors</i>)
34	7.3 طيف التأخر الزمني بدلالة التردد (<i>The Time delay – frequency spectrum</i>)
35	8.3 طيف التأخر الزمني بدلالة الطاقة (<i>The Time delay – energy spectrum</i>)
35	9.3 دراسة التأخر الزمني
45	الخاتمة
46	المراجع

مقدمة عامة

مقدمة عامة

في يوم 10 أبريل 2019، أعلن فريق بحث "مرصد أفق الحدث (EHT: Event Horizon Telescope)" المخصص لرصد الثقوب السوداء عن نجاحه في تصوير أول صورة لظل ثقب أسود فائق الكتلة في مركز المجرة "M87" التي تبعد عن الأرض حوالي 55 مليون سنة ضوئية. هذه الصورة هي دليل مباشر على حقيقة وجود الثقوب السوداء التي هي واحدة من أكثر موضوعات البحث إثارة للاهتمام، ومن أكثر التنبؤات الفيزيائية غرابة التي وصفها نظرية أينشتاين للنسبية العامة.

الهدف من مذكرتنا هو دراسة التغيرات الزمنية للإشعاعات السينية الصادرة من المجرة النشطة NGC 7314 و التي تحتوي في مركزها على ثقب أسود فائق الكتلة، ومعرفة الأسباب الفيزيائية لهذه التغيرات الزمنية، وذلك من خلال تحليل البيانات المرصودة من مرصد XMM-Newton.

في الفصل الأول سنتعرف بالتفصيل على الثقوب السوداء، كما سنتطرق للحديث عن الثقب الأسود في مركز مجرتنا "درب التبانة". كما سنتعرف على نوى المجرات النشطة، خصائصها وكيفية إصدارها للأشعة السينية الكثيفة من مركزها.

في الفصل الثاني سنصف أهم التلسكوبات التي نقوم من خلالها برصد الأجرام السماوية، كما سنتعرف على طريقة تحليل البيانات الصادرة عن مختلف المراصد وخاصة مرصد XMM-Newton.

في الفصل الثالث والأخير سنقوم بدراسة التأخر الزمني بين الأشعة السينية المنبعثة مباشرة والمنعكسة على قرص التراكم للمجرة NGC 7314 من خلال تحليل ومناقشة منحنيات الضوء الصادرة عن نواتها.

الفصل الأول: الثقوب السوداء

1.1 مقدمة

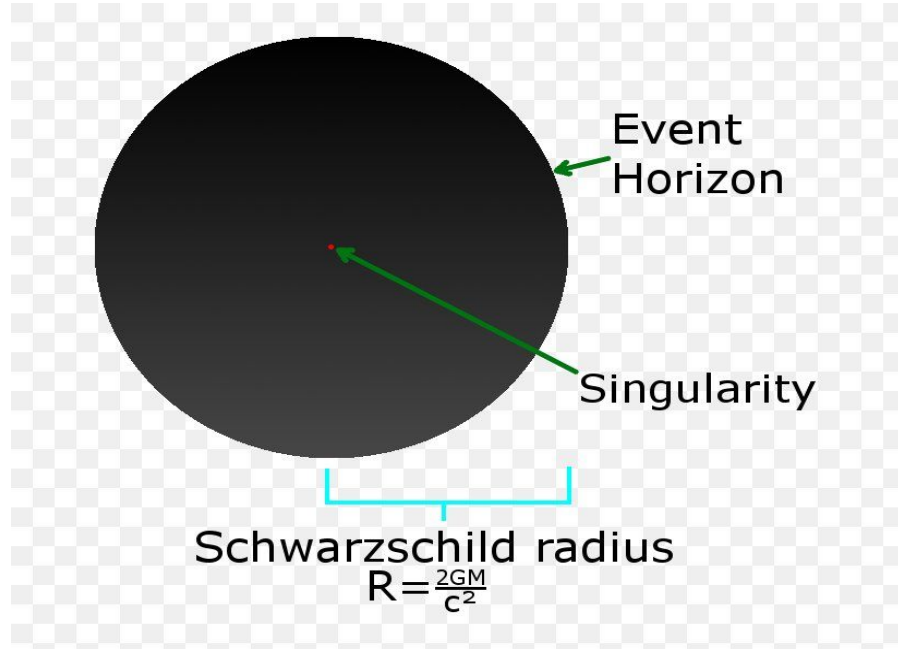
اقترح "جون ميشيل" (1793_1724) منذ أكثر من قرنين من الزمان أن بعض النجوم يمكن أن تظل غير مرئية إلى الأبد. لقد اعتقد أن النجم قد يكون ضخماً للغاية وأن جاذبيته قوية جداً بحيث لا يمكن للضوء الإفلات منه. كتب: 'كل ضوء من هذا الجسم سيعود إليه بجاذبيته المناسبة' (1784). كما قام عالم الفلك والرياضيات الفرنسي "لابلاس" (1827_1749) بترويج الفكرة. أظهر لاحقاً أن الضوء لا يمكنه أبداً التحرك بالسرعة الكافية للإفلات من الجاذبية الهائلة لبعض النجوم المدمجة (1796)، نظراً لأن مادتهم قد تكون مكثفة للغاية وسحب الجاذبية كبير جداً بحيث لا يمكن للضوء أن يخرج منها مما يجعل هذه النجوم مظلمة وغير مرئية إلى الأبد [1].

سنقوم في هذا الفصل بالتعرف على الثقوب السوداء، والمجرات النشطة التي تحوي بداخلها ثقوب سوداء عملاقة (فائقة الكتلة) وعن الإشعاعات السينية الصادرة من هذه المجرات النشطة.

2.1 الثقوب السوداء (Black Holes)

1.2.1 مفاهيم حول الثقوب السوداء

- الثقوب السوداء هي أجسام فلكية مثيرة للجدل (غامضة)، تتمتع بمجال جاذبية قوي بحيث لا يمكن لأي شيء ولا حتى الضوء- الإفلات من داخلها [2].
 - إنها سوداء أو غير مرئية لأن لا سبيل لأي إشارة ضوئية أو إشعاع الإفلات منها، وهي ثقوب لأن لا شيء يسقط فيها يمكنه أن يهرب [1].
 - يتكون الثقب الأسود من ثلاث مناطق: أفق الحدث الداخلي والخارجي والمتفرقة المركزية. فما هي المتفرقة؟ وما هو أفق الحدث؟
- المتفرقة (Singularity) هي مركز الثقب الأسود (تقع عند $r=0$) تتجمع فيها كثافة لانهائية، وهي مصدر جاذبية الثقب الأسود (تجذب كميات هائلة من الكتلة والطاقة) [2].
- أما أفق الحدث (Event Horizon) فهو قرص أحادي الاتجاه يعزل سببها "داخل" الثقب الأسود عن بقية الكون. يمكن أن تسقط المادة، الإشعاع، الطاقة والمعلومات وما إلى ذلك في الثقب الأسود من الخارج، لكن لا شيء، ولا حتى الضوء، يمكن أن يخرج [3].



الشكل 1.1: رسم توضيحي لمكونات الثقب الأسود.

- للثقب الأسود ثلاث خصائص فقط يمكن رصدها وهي: الكتلة، الدوران أو الزخم الزاوي (angular momentum) والشحنة الكهربائية. وهناك أربع أنواع من الثقوب السوداء التي تصنف حسب الكتلة وهي:

✓ الثقوب السوداء البدائية (Primordial Black Holes)، مع كتل لا تقل عن عدد قليل من كتل بلانك (حوالي $1M_{\odot}$ كتلة شمسية). تشكلت بعد الانفجار العظيم بفترة وجيزة ولا تزال موجودة حتى الآن. كما أن حالة الرصد للثقوب السوداء البدائية ضعيفة وغير واضحة [4].

✓ الثقوب السوداء ذات الكتلة النجمية (Stellar mass Black Holes)، تتراوح كتلتها بين 3 و $20M_{\odot}$. تنتج عن الانهيار الأساسي للنجوم الضخمة [5]. يتعلق انهيار النجم ونوع الجسم الناتج عنه على كتلة هذا النجم. فإذا كان النجم ذا كتلة هائلة (حوالي $3M_{\odot}$) فإنه يتحول إلى ثقب أسود، أما إذا كانت كتلته أقل من ذلك فإنه يتحول إلى ما يعرف باسم القزم الأبيض أو النجم النيوتروني [4].

✓ الثقوب السوداء متوسطة الكتلة (Intermediate Black Holes)، لها كتل بين 10^2 و 10^4M_{\odot} لسنوات عديدة لم يكن هناك دليل رصد لمثل هذه الثقوب. أعادت الملاحظات بالأشعة السينية والبصرية إحياء هذا الاحتمال، إذ وجدت هذه الثقوب السوداء خاصة في العناقيد النجمية الكثيفة [5].

✓ الثقوب السوداء فائقة الكتلة (Super-massive Black Holes) وهي أكبر أنواع الثقوب

السوداء تتراوح كتلتها بين 10^5 و $10^9 M_{\odot}$ كتل شمسية ، وهي تختلف عن بعضها البعض فيمكن أن تكون منفردة أو ضمن نظم ثنائية. تتواجد غالباً في مراكز المجرات، ويعتقد أن معظم إن لم يكن كل المجرات بما فيها مجرتنا مجرة درب التبانة تحتوي ثقبا أسوداً في مراكزها. طريقة تكونها مجهولة لحد الآن، ولكن توجد فرضيات تفسر هذا، نذكر من بينها [6]:

- تزداد مادة ثقب أسود من الحجم النجمي ببطء حتى تبلغ هذه الكتلة
- ينتج عن اصطدام قلوبين مجريين قرصاً نووياً هائلاً ومضطرباً، يتراكم أكثر من $10^8 M_{\odot}$. تنهار هذه السحابة مكونة ثقباً أسوداً فائق الكتلة.
- يتم اندماج مجموعة من الثقوب السوداء متوسطة الكتلة مشكلة ثقب أسود فائق الكتلة.

حيث: $1 M_{\odot} = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ ، و هي كتلة الشمس وتستهلك كمرجع لقياس كتل الأجرام في الفضاء.

كما يمكن تصنيف الثقوب السوداء على أساس الدوران والشحنة إلى ما يلي:

- ✓ ثقب Schwarzschild السوداء (1917)، تتميز بأنها لا تدور ولا تحتوي على شحنة كهربائية، يتم تحديدها فقط من خلال كتلتها الإجمالية.
- ✓ ثقب (Reissner-Nordstrom 1918)، وهي غير دوارة لكنها مشحونة.
- ✓ ثقب Kerr السوداء (1963)، تتميز بأنها دوارة، لكن بدون شحنة كهربائية.
- ✓ ثقب (Kerr-Newman 1965) الدوارة والمشحونة [4].

2.2.1 هالة الثقب الأسود (Corona of black hole)

هالة الثقب الأسود عبارة عن سحابة من بلازما ساخنة بالقرب من قرص التراكم حول الثقب الأسود. يتم ملاحظتها بشكل شائع في نوى المجرات النشطة (AGN (Active Galactic Nuclei). تمت تسميتها على اسم هالة الشمس لكن لمعانها في AGN أكبر بـ 10^{15} مرة. تعتبر مكون رئيسي في لمعان تراكم الثقب الأسود حيث تحمل 5 – 30% من الطاقة وفي نوى المجرات النشطة غير المنبعثة (non-jetted)، تؤدي إلى انبعاث كلي للأشعة السينية. يضيء انبعاثها قرص التراكم الداخلي، مما يخلق طيف انعكاس للخطوط الذرية يستخدم لتحديد تدفق التراكم وقياس دوران الثقب الأسود [7].

3.2.1 رصد الثقوب السوداء

بعد أن كشفت الدراسات النظرية عن احتمالية وجود الثقوب السوداء في الكون، بدأ الباحثون في البحث عن علامات وجودها حيث لا يمكن أن تكون الثقوب السوداء في عزلة عن الكون، وبحكم طبيعتها لا ينبعث منها مباشرة أي إشعاع كهرومغناطيسي لذلك يتوجب على الباحثين الاعتماد عموماً على الآثار التي تحدثها الثقوب السوداء فيما حولها.

- رصد الثقوب السوداء في الأنظمة النجمية المزدوجة

هناك طريقتين يتم بهما رصد النجوم المزدوجة ودراستها. في حالة النجوم القريبة تظهر المجموعة المكونة من نجمين من خلال التلسكوب، وتتم دراستها بالرصد المباشر. وفي حالة النجوم البعيدة يتم استخدام التحليل الطيفي للتحقق من وجود الرفيق الخفي للنجم المرئي، والذي ربما يتضح أنه ثقب أسود. من خلال تحليل طيف النجم المرصود و باستخدام إزاحة دوبلر (تأثير دوبلر) في أوقات مختلفة، عندما يتحرك النجم ناحية الأرض وهو يتخذ مدارا حول رفيقه الخفي (في نظام ثنائي) يلاحظ أن خطوط الطيف ستتحرك إلى اللون الأزرق، وعندما يمر النجم بين الأرض والمرافق له فلا يلاحظ أي إزاحة، وعند ابتعاده عن الأرض ليستكمل دورته حول رفيقه يلاحظ إزاحة نحو اللون الأحمر. تقلص أحد النجمين ليكون ثقب أسود لا يعني اختفائه برغم أنه سيصبح غير مرئي بل سيظل محتفظا بمجاله الجاذبي وبالتالي فالثقب الأسود الذي يكون جزءا من نظام نجمي مزدوج له نفس التأثير على حركة النجم الآخر، وهذا يعني أن أنسب الأماكن لرصد الثقوب السوداء هي الأنظمة النجمية المزدوجة. حيث يستدل العلماء على وجود نجم خفي لا يعطي أي إشعاع لكن كتلته التي يمكن معرفتها بدراسة حركة النظام الثنائي تزيد على ثلاث كتل شمسية.

● رصد الثقوب السوداء من خلال إصدار الأشعة السينية

يوجد حول الثقوب السوداء عادة أقراص التراكم المتكونة من الغازات والغبار المحيطة بالثقب الأسود، تدور هذه الغازات بشكل متسارع نتيجة لقوى الجاذبية المتزايدة مع اقترابها من أفق الحدث للثقب الأسود، تصطمم الجسيمات سريعة الحركة عندما يتم ضغطها مما يؤدي إلى تسخين المادة إلى درجات حرارة تصل إلى ملايين درجة كلفن. وعند اقترابها بمسافة كافية من أفق الحدث تفقد الغازات جزءا كبيرا من طاقتها على شكل إشعاع يمكن رصده في نطاق الأشعة السينية. بدأ العلماء في استخدام تلسكوبات الأشعة السينية بغرض تتبع هذه الأشعة التي ترسلها الغازات المترابطة حول الثقب الأسود، حيث تعتبر لحد اليوم الطريقة الوحيدة لملاحظة الثقب الأسود بشكل مباشر [1].

4.2.1 الثقب الأسود في مركز درب التبانة

اكتشف علماء الفلك الراديوي مصدر راديو قوي ومضغوط بشكل استثنائي في مركز درب التبانة من خلال رصد الغبار بين النجوم في اتجاه كوكبة القوس (the constellation Sagittarius)، وبالتالي سمي هذا المصدر "القوس A*" (غالبا ما يختصر باسم "Sgr A*").

تظهر قياسات مقياس التداخل الراديوي مع خطوط الأساس الطويلة جدا (VLBI: Very Long Baseline Interferometry) أن "Sgr A*" أصغر من نظامنا الكوكبي، بنصف قطر يبلغ حوالي نصف المسافة بين الأرض والشمس أو ما يسمى بالوحدة الفلكية "Astronomical Unit" و تستعمل كوحدة لقياس المسافات في الكون (أي: $1 AU = 1.496 \times 10^{11} m$). يبدو من المرجح أن ثقبا أسود هائلا بشكل استثنائي يعمل على تنشيط مصدر الراديو شديد السطوع والمضغوط.

بما أن هذا الثقب الأسود ضخم جدا، كثيف ومضغوط على نطاق كوني، فإن جاذبيته الهائلة يمكن أن تؤثر على حركة النجوم الموجودة بجواره. يوجه الثقب الأسود فائق الكتلة النجوم القريبة إلى حركة مدارية سريعة، و هذا دليل على وجوده في المركز. يمكن رصد هذه النجوم على أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء التي تخترق أيضا الغبار بين النجوم.

استخدم علماء الفلك تلسكوبات كبيرة للضوء المرئي في تشيلي وهاواي لاكتشاف النجوم الفردية في الأشعة تحت الحمراء، على الرغم من أنها تضيء بشكل ضعيف جدا عند أطوال موجات الراديو بحيث لا يمكن ملاحظتها باستخدام التلسكوبات الراديوية. من خلال مراقبة حركات نجوم بإستعمال مرصد الأشعة تحت الحمراء القريبة من مركز درب التبانة والتي تدور حوله، تم العثور على ثقب أسود مركزي فائق الكتلة.

بعد دراسة غير مسبوقة استمرت لأكثر من عقد من الزمن، تمكن الباحثون و باستخدام تلسكوبات ذات تباين أعلى وحساسية أشد من تتبع الدورة الكاملة لنجم الأشعة تحت الحمراء "المقلب S2" حول الثقب الأسود غير المرئي. يتحرك هذا النجم في غضون 17 ساعة ضوئية من المركز غير المرئي بسرعة تصل إلى 5000 km.s^{-1} . تشير هذه المتغيرات المدارية إلى أن كتلة الثقب الأسود المركزي هي كتلة هائلة تبلغ حوالي 4 ملايين مرة من كتلة الشمس [1].

من أين أتى هذا الثقب الأسود الضخم ولماذا يقع في مركز درب التبانة؟ ربما تزامن تشكيلها مع أصل نظامنا النجمي، من خلال انهيار كتلة دوارة ضخمة مع وجود نواة في المركز ودوران درب التبانة حولها. ربما تعود العناقيد النجمية الكروية إلى بداية الانهيار، منذ حوالي 14 مليار سنة.

ربما يكون الثقب الأسود فائق الكتلة قد نشأ في النواة المركزية، ربما نتيجة لانهايار جاذبية سحابة ضخمة من الغاز موجودة هناك. وبدلا من ذلك، ربما يكون قد نما نتيجة اندماج الثقوب السوداء النجمية الأصغر، والتي تشكل كل منها في نهاية عمر النجوم الأولى الضخمة [1].

3.1 المجرات النشطة (Active Galaxies)

1.3.1 خصائص المجرات النشطة

● عالية اللعان

المجرات النشطة أكثر لمعانا من المجرات العادية، وهذا بسبب نواتها النشطة نتيجة الغاز المترام حول الثقب الأسود فائق الكتلة الموجود في مركزها، حيث يبلغ لمعانها بين 10^{42} و 10^{48} erg/s (حيث: $1 \text{ joule} = 10^7 \text{ erg}$)، وهو يتجاوز بكثير اللعان النموذجي للمجرات العادية غير النشطة.

● النفثات (jets)

تتميز بعض المجرات النشطة بوجود نفائتين متعاكستين في الاتجاه من الحقول المغناطيسية القوية المنبعثة من حول الثقب الأسود فائق الكتلة، والإلكترونات سريعة الحركة التي تدور حول هذه الحقول المغناطيسية تنتج كميات هائلة من الاصدارات الراديوية يمكن أن تمتد إلى مئات الآلاف من السنوات الضوئية. وتكون هذه النفائات عمودية على قرص التراكم [8].

● خطوط الانبعاثات الطيفية

تتميز المجرات النشطة بوجود نوعين من مناطق خطوط الانبعاثات الطيفية التي تنبعث من السحب الغازية، منطقة خطوط الانبعاث العريضة (BLR: Broad Line Region) وتكون قريبة جدا من النواة تتحرك بسرعة عالية وتتعرض لجاذبية كبيرة. ومنطقة خطوط الانبعاث الضيقة (NLR: Narrow Line Region) تكون بعيدة عن النواة تتحرك بسرعة أقل وتتعرض لجاذبية أقل [8].

● قرص التراكم (Accretion disc)

يدور حول الثقب الأسود فائق الكتلة الموجود في مركز المجرة النشطة قرص مسطح نسبياً بسرعة عالية مكون من الغاز والغبار، يزيد حجمه من خلال جذب المواد المحيطة به.

2.3.1 نوى المجرات النشطة (AGN)

تتنتمي مجرات سيفرت "Seyfert" والمجرات الراديوية والكوازارات إلى فئة مشتركة تعرف مجتمعة باسم نوى المجرات النشطة، التي تشع بقوة على النطاق الكامل للطيف الكهرومغناطيسي بحيث لا يمكن أن تتكون من نجوم عادية. يبدو من غير المحتمل أن تتمكن المجرة من الحفاظ على مثل هذه الأشعة لفترة طويلة (ليست مضيئة بشكل دائم). لهذا السبب، يعتقد أن المجرات النشطة لا تشكل فئة منفصلة من المجرات، بل تمثل مرحلة عابرة في تطور المجرات العادية.

يظهر نشاط الأنوية النشطة في أشكال مختلفة: تملك بعض المجرات نواة شديدة السطوع تشبه منطقة كبيرة من الهيدروجين المتأين. قد تكون هذه مجرات صغيرة، حيث تتشكل بالقرب من المركز أعدادا كبيرة من النجوم وتتطور إلى مستعرات أعظم (نوى انفجار نجمي). في النوى الأخرى، لا يمكن للنجوم أن تنتج الإشعاع، والمصدر الأكثر قبولا للطاقة في هذه النوى هو طاقة الجاذبية لثقب أسود فائق الكتلة (الكتلة $< 10^8 M_{\odot}$). في بعض المجرات، تكون الخطوط الطيفية عريضة بشكل غير عادي، مما يشير إلى سرعات داخلية كبيرة. قد تكون هذه إما سرعات دورانية بالقرب من ثقب أسود أو بسبب أحداث متفجرة في النواة. في بعض المجرات، ترى النفائات تخرج من النواة. تشع العديد من المجرات النشطة طيفا غير حراري، يبدو أنه إشعاع سينكروتروني "synchrotron" تنتجه الإلكترونات السريعة في المجال المغناطيسي [9].

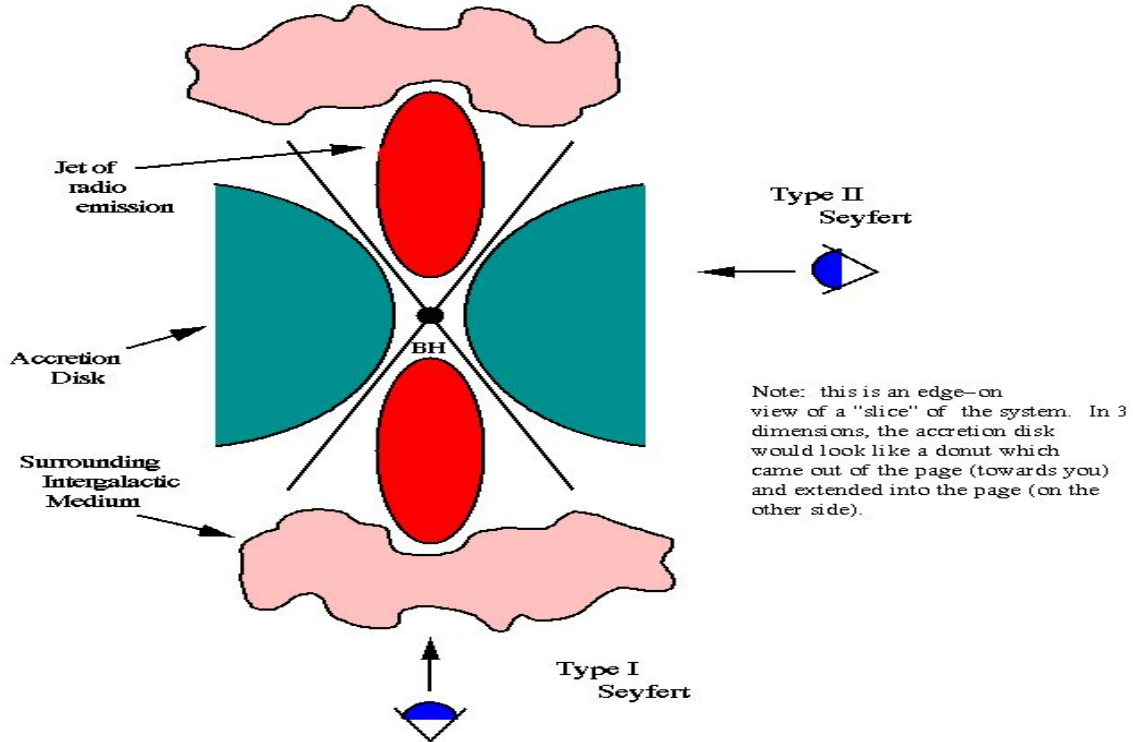
● مجرات سيفرت (Seyfert Galaxies)

تمت تسمية مجرات سيفرت على اسم "كارل سيفرت" الذي اكتشفها عام 1943. وتتمثل أهم خصائصها في نواة مركزية ذات بريق عال شبيهة بالنقطة وطيّف يظهر خطوط انبعاث واسعة. يحتوي الطيف المستمر على مكون غير حراري، وهو الأبرز في الأشعة فوق البنفسجية. يعتقد أن خطوط الانبعاث تنتج في سحب غازية تتحرك بالقرب من النواة بسرعات كبيرة.

على أساس الطيف، تصنف مجرات سيفرت على أنها من النوع 1 أو 2. في الطيف من النوع 1، تكون الخطوط المسموح بها عريضة (تقابل سرعة 10^4 km.s^{-1})، وهي أوسع بكثير من الخطوط الممنوعة. في النوع 2، تكون جميع الخطوط متماثلة وأضيق (10^3 km.s^{-1}). يعتقد أن سبب الاختلاف هو أن الخطوط المسموح بها تتشكل في غاز أكثر كثافة بالقرب من النواة، والخطوط الممنوعة في الغاز الأكثر انتشاراً. في مجرات سيفرت من النوع 2، يكون الغاز الأكثر كثافة مفقوداً أو محجوباً (مظلماً).

جميع مجرات سيفرت تقريباً المعروفة هي حلزونية (حوالي 1%)، والاستثناءات المحتملة هي من النوع 2: وهي مصادر قوية للأشعة تحت الحمراء. غالباً ما تُظهر المجرات من النوع 1 انبعاثاً قوياً للأشعة السينية.

مجرات سيفرت الحقيقية هي مصادر راديو ضعيفة نسبياً. ومع ذلك، هناك مجرات راديوية مضغوطة ذات طيف ضوئي مماثل بشكل أساسي لمجرات سيفرت (ربما ينبغي تصنيفها ضمن مجرات سيفرت). بشكل عام، يبدو أن الإصدار الراديوي الأقوى يأتي مع طيف من النوع 2 [9].



الشكل 2.1: مجرة سيفرت ذات نواة نقطية يتغير سطوعها، تحتوي على نوعان: النوع 1 والنوع 2، لهما خطوط طيفية للانبعاث في نواتهما، وهو دليل على وجود غاز شديد الإثارة. ينشأ الاختلاف في شكل خطوط الانبعاث (خطوط الانبعاث الخاصة بالنوع 1 واسعة جدا مما يشير إلى أن الغاز يتحرك بسرعات كبيرة، أما خطوط الانبعاث الخاصة بالنوع 2 ضيقة مما يشير إلى أن الغاز يتحرك ببطء أكبر).

● مجرات راديوية (Radio Galaxies)

تتميز بأنها ذات مصادر راديوية قوية عادة ما يكون لمعانها 10^{38} - 10^{33} W. ويرجع إصدارها للموجات الراديوية إلى ظاهرة الإشعاع السنكروتروني غير الحراري. تكمن المشكلة الرئيسية في تفسير الانبعاث الراديوي في فهم كيفية إنتاج الإلكترونات والمجالات المغناطيسية، وقبل كل هذا، من أين تحصل الإلكترونات على طاقتها.

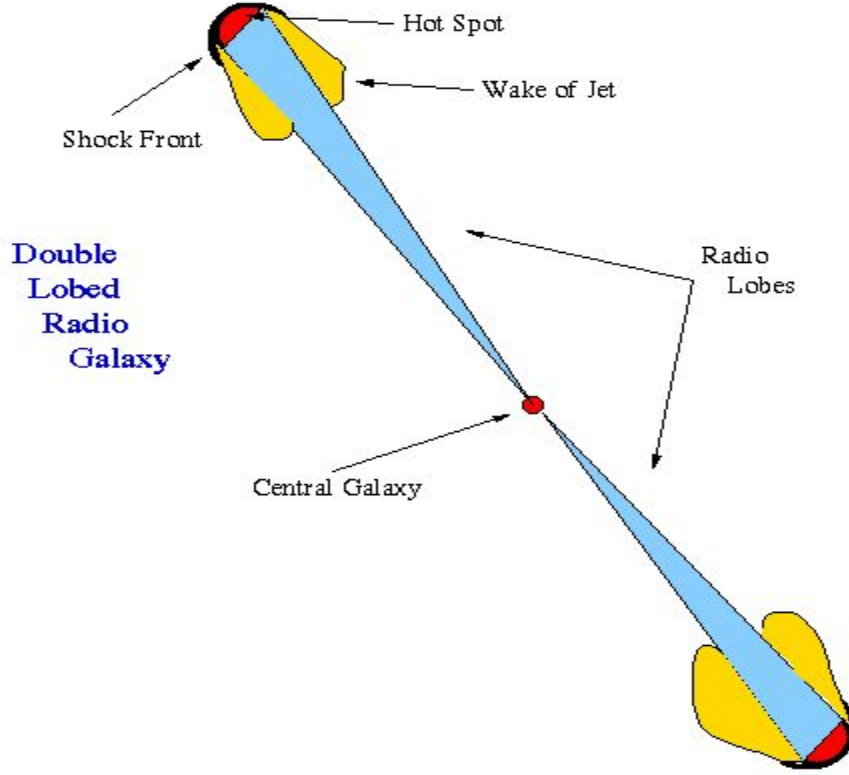
تمت دراسة أشكال وأحجام المناطق التي ينبعث منها الإشعاع الراديوي من المجرات الراديوية منذ الخمسينيات، عندما حققت مقاييس التداخل الراديوي دقة التلسكوبات البصرية.

السمة المميزة للمجرة الراديوية القوية هي البنية المزدوجة: هناك منطقتان كبيرتان للانبعاث الراديوي على جانبي المجرة المرصودة. المناطق الباعثة للراديو لبعض المجرات الراديوية متباعدة حتى 6Mpc (حيث: 1 pc = فرسخ = 3,26 سنة ضوئية)، أي ما يقرب من عشرة أضعاف المسافة بين مجرة درب التبانة ومجرات أندروميديا. وتعد المجرة "M87" واحدة من أصغر مصادر الراديو المزدوجة حيث لا يبعد مكوناتها سوى عدد قليل من kpc عن بعضها البعض.

يبدو أن البنية المزدوجة للمجرات الراديوية ناتجة عن عمليات قذف من النواة. ومع ذلك، فإن الإلكترونات الموجودة في "الفصوص الراديوية (radio lobes)" لا يمكن أن تأتي من مركز المجرة لأنها ستفقد كل طاقتها خلال هذا العبور الطويل. لذلك يجب تسريع الإلكترونات باستمرار داخل المناطق التي ينبعث منها الإشعاع الراديوي. يوجد داخل فصوص الراديو مناطق شبه نقطية ويقع ساخنة.

توجد أيضا مصادر راديو تسمى بـ: "الذيول (Tailed)"، تأتي انبعاتها الراديوية بشكل أساسي من جانب واحد من المجرة وتشكل ذيلا منحنيا والذي غالبا ما يكون أطول بعشرات المرات من قطر المجرة. يتم تفسير الذيل على أنه المسار الذي تتركه المجرة الراديوية في الفضاء بين المجرات.

ميزة خاصة أخرى كشفت عنها خرائط الراديو هي وجود النفاثات وخطوط ضيقة من الانبعاثات الراديوية، عادة ما تبدأ في النواة وتمتد بعيدا خارج المجرة وأشهرها هو "نفائة M87": والتي تمت ملاحظتها أيضا على أنها نفائة في المجال المرئي وكذا مجال الأشعة السينية، كما وأن أقرب مجرة راديو لدينا "Centaurus A": لديها أيضا نفائة تمتد من النواة إلى بالقرب من حافة المجرة [9].



الشكل 3.1: مجرة راديوية ذات فصوص مزدوجة كبيرة للغاية (أكبر بكثير من المجرات التي نشأت فيها) تصدر طاقة راديو من منطقتين، واحدة على كل جانب من المجرة. وفقا للنظرية الموحدة، فإن فصوص الراديو هذه هي أطراف نفاثات ينتجها ثقب أسود فائق الكتلة في مركز المجرة. تمتد النفاثات على كل جانب من المجرة بشكل عمودي على قرص التراكم المركزي الذي يحيط بالثقب الأسود لأنه من الأسهل أن تتحرك النفاثة بشكل عمودي على القرص (حيث لا يوجد الكثير من المواد) من خلال القرص السميك. ولهذا نرى نفاثتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين. نظرا لأن النفاثة تتحرك بسرعة أعلى بكثير من المتوسط، تتشكل الصدمات (shocks) في نهايات النفاثة. هذه الصدمات تخلق "بقعة ساخنة"، وهي موقع انبعاث شديد.

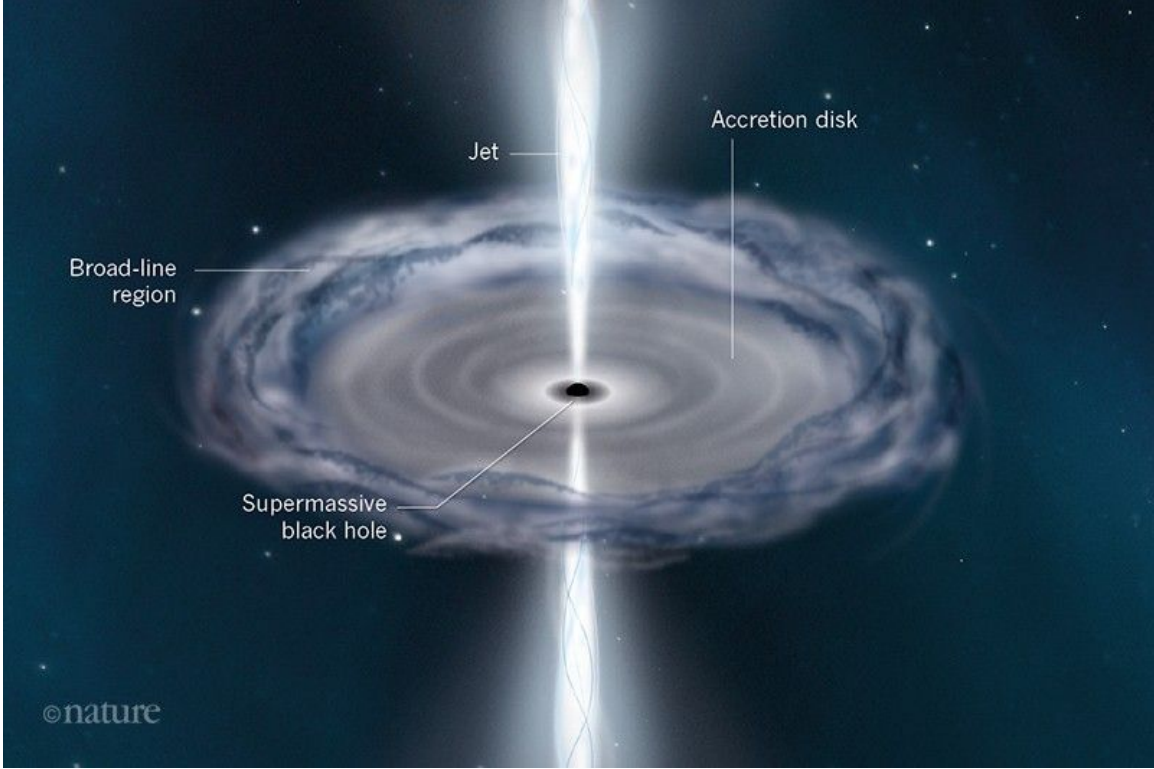
● كوازارات Quasars (Quasi-Stellar Astronomical Radiosource)

تم اكتشاف الكوازار الأول في عام 1963، عندما فسر العالم الهولندي "مارتن شمديت" خطوط الانبعاث البصري لمصدر الراديو المعروف 3C273 (أول من مهد لمعرفة وجود الكوازارات وكذا خواصها) على أنها خطوط "بالمر" للهيدروجين المنزاحة بنسبة 16% نحو الأحمر. كلمة quasar هي اختصار لمصدر الراديو quasi-stellar (شبه نجمي)، ويفضل بعض الفلكيين استخدام التسمية QSO (جسم شبه نجمي)، حيث لا تصدر جميع الكوازارات إشعاعات راديوية.

ومن أهم ما تتميز به الكوازارات [9]:

✓ من الناحية البصرية تظهر الكوازارات تقريبا كمصادر نقطية، كما تظهر صور الأشعة السينية للأقمار الصناعية أيضا أن الكوازارات شبه نقطية.

- ✓ على الرغم من اكتشاف الكوازارات الأولى من خلال الملاحظات الراديوية، إلا أن جزء صغير فقط من جميع الكوازارات التي تم تحديدها بصريا هي مصادر راديوية لامعة.
- ✓ معظم الكوازارات الراديوية هي مصادر نقطية، لكن بعضها له بنية مزدوجة مثل المجرات الراديوية.
- ✓ في المنطقة المرئية، تهيمن على أطيف الكوازار خطوط طيفية ذات أطوال موجية ثابتة في الأشعة فوق البنفسجية.
- ✓ كان الانزياح الأحمر الأول للكوازار المرصود هو $z=0.16$ و 0.37 ، واستمرت عمليات البحث اللاحقة في إظهار انزياحات حمراء أكبر حيث أن الرقم القياسي الحالي هو $z=8.7$ ، لكن ثلاث كوازارات لها انزياح أحمر 10.
- ✓ تعني المسافات الكبيرة المستنتجة للكوازارات أن لمعانها يجب أن يكون كبير للغاية 10^{38} - 10^{41} W.
- ✓ قد يختلف سطوع الكوازارات بسرعة، في غضون أيام قليلة أو أقل. وبالتالي لا يمكن أن تكون منطقة الانبعاث أكبر من بضعة أيام ضوئية، أي حوالي 100 وحدة فلكية.
- ✓ غالبا ما تحتوي الكوازارات على خطوط انبعاث وامتصاص في أطيفها. إن خطوط الانبعاث واسعة جدا ومن المحتمل أنها تنتج في الكوازار نفسه. يتكون جزء كبير من طيف الامتصاص من خطوط ضيقة موزعة بكثافة يعتقد أنها خطوط ليمان α للهيدروجين التي تشكلت في السحب الغازية على طول خط البصر إلى الكوازار.
- ✓ الغيوم التي تنتج " α forest Lyman " هي مجرات صغيرة أو مجرات أولية، وبالتالي فهي تقدم أدلة مهمة حول تكوين المجرات. يمكن استخدام " α forest Lyman " لرسم خرائط لسحب الغاز بين المجرات حتى الانزياح الأحمر $z=6$. أبعد من ذلك، لا يمكن رؤية خطوط امتصاص ليمان α لأن معظم الهيدروجين محايد.



الشكل 4.1: بنية الكوازار 3C 273. الكوازارات هي أجسام فلكية تتكون من ثقب أسود هائل محاط بغاز ساخن وغبار. عندما يتم سحب هذه المادة نحو الثقب الأسود من خلال هيكل يعرف باسم قرص التراكم، يتم إطلاق الطاقة على شكل ضوء، وفي حالة الكوازار 3C 273، يتم إطلاق شعاع من الجسيمات المشحونة يسمى نفائثة. يُبلغ فريق بحث GRAVITY عن تقنية تتيح تدوير الغاز في جزء من 3C 273 يعرف بمنطقة الخط العريض ليتم حلها مكانياً. حدد الباحثون أن هذا الغاز يتحرك بشكل عمودي على النفائثة وله شكل حلقة سميكة نصف قطرها 0.12 فرسخ فلكي.

● النماذج الموحدة (Unified Models)

على الرغم من أن أشكال النشاط المجري قد تبدو متنوعة للوهلة الأولى، إلا أنه يمكن توحيدها ضمن نموذج تخطيطي مقبول على نطاق واسع بحيث تعتمد خصائص كل مجرة على عدد قليل من المتغيرات فقط.

وفقاً لهذا النموذج، تحتوي معظم المجرات على نواة مركزية مدمجة، وهي عبارة عن ثقب أسود فائق الكتلة، كتلته $10^7 - 10^{10} M_{\odot}$ ، محاط بقرص أو حلقة من الغاز. مصدر الطاقة هو طاقة الجاذبية المنبعثة عندما يتراكم الغاز في الثقب الأسود. قد يؤدي القرص أيضاً إلى نشوء نفائثة، حيث يتم تحويل بعض الطاقة إلى حركات عمودية على طول محور الدوران. وبالتالي، فإن نوى المجرة النشطة تشبه نواة درب التبانة، على الرغم من أن كتل كل من الثقب الأسود والقرص الغازي قد تكون أكبر بكثير.

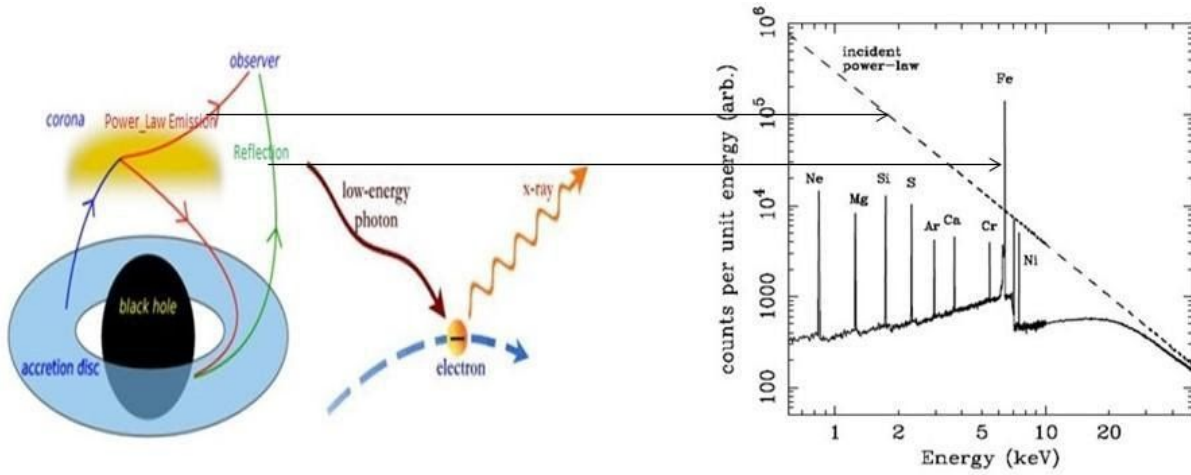
إن استنتاج كتلة الثقب الأسود المركزي أمر صعب وغير مؤكد. ومع ذلك، باستخدام مجموعة متنوعة من الأساليب التي تتطوي على حركة النجوم والغاز في مركز المجرات القريبة، تم تحديد كتل الثقوب السوداء لحوالي 30 مجرة. والنتيجة الأكثر أهمية لهذه الدراسات هي أن هناك علاقة وثيقة بين كتلة الثقب الأسود ونسبة السرعة المركزية للمجرة.

من الواضح أن المتغيرة المميزة الأولى للنموذج الموحد هي اللمعان. على سبيل المثال، الاختلاف الأساسي الوحيد بين مجرات سيفرت 1 والكوازارات الراديوية الهادئة هو اللمعان الأكبر للكوازارات. المتغيرة الأساسية الأخرى هي سطوع الراديو، والتي قد تكون مرتبطة بقوة النفائثة. على أساس لمعانها الراديوي، يمكن للمرء أن يربط مجرات سيفرت والكوازارات الراديوية الهادئة من جهة، والمجرات الراديوية والكوازارات الراديوية من جهة أخرى. المتغيرة الثالثة المهمة للنماذج الموحدة هي الزاوية التي تصادف أن نرى القرص النووي منها. على سبيل المثال، إذا تم رؤية القرص بشكل جانبي، فإن النواة الفعلية يحجبها القرص. قد يفسر هذا الاختلاف بين نوعي سيفرت 1 و 2: في النوع 2 لا نرى خطوط انبعاث عريضة (تقع تحت تأثير الجاذبية) تتشكل بالقرب من الثقب الأسود، ولكن فقط الخطوط الضيقة من القرص (والتي تكون بعيدة عن الثقب الأسود). وبالمثل، تظهر المجرة التي تبدو كمصدر راديو مزدوج عند رؤيتها من الحافة وكأنها كوازار راديو إذا شوهد القرص وجهاً لوجه. في الحالة الأخيرة، هناك احتمال أن نرى جسمًا على طول النفائثة مباشرة. سيظهر بعد ذلك على هيئة بلازار (Blazar): مجرة بها اختلافات سريعة وعنيفة في السطوع والاستقطاب، وخطوط انبعاث ضعيفة جدًا أو غير مرئية. إذا كانت النفائثة نسبية تقريبًا، فقد تظهر سرعتها العرضية أكبر من سرعة الضوء، وبالتالي يمكن أيضًا فهم الحركات الفائقة للمعان [9].

4.1 إصدار الأشعة السينية

تعتبر نوى المجرات النشطة مصدرا للأشعة السينية عالية الطاقة. يعتقد أن انبعاث الأشعة السينية يأتي من المناطق الداخلية لقرص التراكم الذي يدور حول الثقب الأسود فائق الكتلة في مركز المجرة على شكل إصدار مباشر (power law emission)، ونظرًا لأن قرص التراكم نفسه باعث للأشعة البصرية وفوق البنفسجية فإن إنتاج الأشعة السينية يتم بألية نشئت كومبتون المعكوس للفوتونات فوق البنفسجية والمرئية ضعيفة الطاقة المنبعثة من قرص التراكم إلى طاقات عالية بواسطة إلكترونات الهالة الساخنة (hot corona). كما يوجد انبعاث من الطبقات السطحية لقرص التراكم ناتج عن تأين الذرات الموجودة في القرص بواسطة الأشعة السينية المنبعثة من الهالة.

يظهر خط الانبعاث الطيفي الضيق من قرص التراكم عبر عملية انعكاس الأشعة السينية اتساع وانحراف نتيجة تأثير دوبلر و الانزياح نحو الأحمر الجاذبي. يعتبر انبعاث خط الحديد fluorescent عند [6.4 – 6.9KeV] أقوى من خطوط باقي الذرات، حيث يمكن رؤيته في طيف الأشعة السينية للعديد من نوى المجرات النشطة لأن خط انبعاثه أعلى من خط انبعاث الإصدار المباشر، ومن خلال دراسة مظهر الخط يمكن تحديد دوران الثقب الأسود وزاوية ميل قرص التراكم [10].



الشكل 5.1: يمثل الخطوط الطيفية للإصدار لمختلف العناصر الموجودة في قرص التراكم والناجمة عن الإشعاع المنعكس بالإضافة إلى الإصدار المباشر الذي يكون على شكل قانون أسي.

الفصل الثاني: تقنيات الرصد وتحليل البيانات للمجرات

1.2 مقدمة

الفضاء الخارجي واسع ومليء بالأجرام السماوية المختلفة من نجوم، كواكب وغيرها، بحيث لا يمكن للإنسان التعرف عليها نظرا بعينه المجردة فقط، لذلك ومع تطور العلوم والتكنولوجيا تمكن الإنسان من تصميم وصنع تلسكوبات متنوعة والتي بدورها تطورت بثتى أنواعها الأرضية والفضائية لاستقبال الأشعة الكهرومغناطيسية المختلفة الصادرة من مختلف الأجرام في الفضاء.

سنقوم في هذا الفصل بالتعرف على التلسكوبات وأنواعها المختلفة، كما سنركز اهتمامنا على تلسكوبات الأشعة السينية وخاصة مرصد XMM-Newton. وسنتعرف كذلك على كيفية نقل واستخراج البيانات المتعلقة بهذه الأجرام السماوية.

2.2 وصف أجهزة وتقنيات الرصد

تعتبر التلسكوبات الأداة الأساسية التي يستخدمها الفلكيون في رصد الأجرام السماوية من نجوم، كواكب ومجرات. وقد تطورت التلسكوبات كثيرا وتتنوعت مما ساعد في رصد الأجرام البعيدة باستخدام نطاقات مختلفة من الطيف. وتختلف التلسكوبات تبعا لما تستقبله من أشعة، فمنها ما يرصد في المجال المرئي ومنها ما يرصد في مجال الأشعة الراديوية ومنها ما يرصد في مجالات الأمواج الكهرومغناطيسية الأخرى، وفيما يلي الأنواع المختلفة للتلسكوبات:

1.2.2 التلسكوبات البصرية (Optical Telescopes)

الغلاف الجوي شفاف إلى حد كبير في الجزء البصري من الطيف الكهرومغناطيسي ($0.3\mu\text{m} \leq \lambda \leq 1\mu\text{m}$) وبالتالي نحن قادرون على إجراء عمليات رصد من الأرض.

تطور علم الفلك البصري بسرعة كبيرة في السنوات الأخيرة ويرتبط هذا بعدد كبير من الإنجازات التقنية، ومن الأمثلة الجيدة على ذلك "تلسكوب كيك (Keck telescope)" في هاواي، بقطر 10 م الذي تم تشغيله في عام 1993 حيث كان أول تلسكوب بصري بقطر مرآة يزيد عن 6 م.

تم زيادة إنتاجية التلسكوبات البصرية بشكل كبير من خلال تصميم كاميرات "CCD" واسعة المجال، وأكبرها حاليا هو "PanSTARRS" مع حوالي 1.4×10^6 pixels تغطي 7 deg^2 .

يوجد حاليا 13 مقراب بصري من فئة 4 م حول العالم تختلف بشكل رئيسي في موقعها وأدواتها، على سبيل المثال "تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي (CFHT: the Canada– France–Hawaii telescope)" الذي كان رائدا في مجال القياس الضوئي لسنوات عديدة بسبب جودة رصده. كما قدم "NNT: The New Technology Telescope)" أكبر مساهماته بكاميرا SOFI وهي أداة قريبة من الأشعة تحت الحمراء مع مجال رؤية كبير وجودة صورة ممتازة [11].



الشكل 1.2: التلسكوبات البصرية (تلسكوب كيك، تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي "CFHT" وتلسكوب "NTT").

2.2.2 تلسكوب هابل الفضائي (Hubble Space Telescope)

لتجنب أكبر مشكلة في علم الفلك البصري الأرضي إقترح عالم الصواريخ "هيرمان أوبرث" في العشرينيات من القرن الماضي التلسكوبات في الفضاء للمساعدة في التغلب على التشوهات الناجمة عن الغلاف الجوي للأرض، وفي عام 1946 تناول الفلكي "ليمان سيبتزر" هذه القضية مرة أخرى وناقش إمكانيات تحقيق مثل هذا المشروع. وبالفعل بعد وقت قصير من تأسيس وكالة ناسا في عام 1958، تم الإعلان عن بناء تلسكوب كبير في الفضاء على أنه هدف طويل المدى، وبعد العديد من الدراسات وموافقة وكالة الفضاء الأوروبية على الانضمام إلى المشروع تم بناء "تلسكوب هابل الفضائي" (HST) أخيراً، و الذي أطلق إلى الفضاء في 24 أبريل 1990.

جاءت مفاجأة غير سارة بمجرد التقاط الصور الأولى حين تبين أن المرأة الرئيسية التي يبلغ طولها 2.4 م وضعت بشكل غير صحيح مما أثر على قدرات المرصد، وقد أعيد ضبط هذا التلسكوب إلى مستوى الجودة المطلوبة بعد إطلاق 'مهمة الإصلاح' لصيانتته في ديسمبر 1993، كما أطلقت بعد ذلك خمس مهام لإصلاح وتطوير واستبدال أنظمتها.

بعد مهمة الصيانة النهائية "SM-4" في عام 2009 أصبح واحداً من أنجح وأشهر الأدوات العلمية [11]. ومن بين أهم الاكتشافات التي قام بها:

- ✓ قدم أرصاد مهمة في نظامنا الشمسي وتشكيل النجوم والكواكب والمجرات، كما استخدم لدراسة الأجسام خارج النظام الشمسي.
- ✓ اكتشاف أن كل مجرة كبيرة تقريباً يوجد في مركزها ثقب أسود.
- ✓ الحصول على معلومات حول الحالات المبكرة للمجرات وتطورها.
- ✓ إن أهم مساهمة لـ HST في علم الفلك خارج المجرة هي حقول هابل العميقة (Hubble Ultra Deep) باستخدام كاميرا ACS المثبتة حديثاً.



تلسكوب هابل الفضائي "HST"

الشكل 2.2: تلسكوب هابل الفضائي.

3.2.2 التلسكوبات الراديوية (Radio Telescopes)

يستخدم التلسكوب الراديوي في رصد الأشعة الراديوية الصادرة من النجوم، وقد تم بناء كثير من هذه التلسكوبات في أماكن كثيرة من العالم.

أكبر هذه التلسكوبات هو "تلسكوب أريسيبو أحادي الطبقة (The largest single-dish) (Arecibo telescope)" الذي كان له دورا مهما في علم الفلك خارج المجرة، وذلك بقياس الانزياحات الحمراء وعرض خط المجرات الحلزونية المحددان من خط انبعاث 21 سم من الهيدروجين المحايد.

في نهاية السبعينات حقق الباحثون دقة زاوية في المجال الراديوي مماثلة لتلك الموجودة في التلسكوبات البصرية مع ظهور "مصفوف المراصد العظيم (VLA: the Very Large Array)" الموجود في نيومكسيكو الذي شهد طفرة هائلة لاسيما في دراسة أنوية المجرات النشطة كما أصبح من الممكن فحص النفاثات (jets) الكبيرة الممتدة من الكوازارات والمجرات الراديوية بالتفصيل.

كما يضم موقع "Cerro Chajnantor" وهو هضبة بارتفاع 5100 م في صحراء أتاكاما التشيلية واحد من أكثر المشاريع الطموحة لعلم الفلك الأرضي حتى الآن وهو "مصفوف مرصد أتاكاما الميليمتري الكبير (ALMA : Atacama Large Millimeter/sub-millimetre Array)" الذي يتكون من 50 هوائي بقطر 12 م لكل منها والتي يمكن تحريكها لتغيير الفصل بين التلسكوبات (حتى 16 كلم)، كما يحتوي على مجموعة مدمجة تتكون من 12 هوائي بطول 7 م و 4 هوائيات بطول 12 م [11].



الشكل 3.2: التلسكوبات الراديوية (تلسكوب أريسيبو، مصفوف المراصد العظيم "VLA" ومصفوف مرصد أتاكاما المليمترى الكبير "ALMA").

4.2.2 تلسكوبات الأشعة تحت الحمراء (Infrared Telescopes)

يحتوي الغلاف الجوي على بعض النواذ في الأشعة تحت الحمراء القريبة ($1\mu\text{m} \leq \lambda \leq 2.4\mu\text{m}$) مما يجعل الرصد في الأرض ممكن وذلك عن طريق وضع تلسكوبات في المناطق الجافة أو المناطق المرتفعة كالجبال والتلال، وفي أنظمة الأشعة تحت الحمراء المتوسطة ($2.4\mu\text{m} \leq \lambda \leq 20\mu\text{m}$) والبعيدة ($20\mu\text{m} \leq \lambda \leq 300\mu\text{m}$) يجب إجراء عمليات المراقبة من خارج الغلاف الجوي، أي باستخدام البالونات أو الطائرات عالية التحليق أو الأقمار الصناعية. كما يجب تبريد الأدوات إلى درجات حرارة منخفضة للغاية، وإلا فإن الإشعاع الحراري الخاص بها سيتفوق على أي إشارة (تبدأ بإرسال الأشعة تحت الحمراء عند سخونتها).

في الحقيقة فإن كفاءة الرصد في الأشعة تحت الحمراء زادت بصورة قوية بعد إرسال "القمر الصناعي الفلكي الخاص بالأشعة تحت الحمراء (IRAS: the InfraRed Astronomical Satellite)" لرصد الأشعة من 12 إلى $100\mu\text{m}$ مع تلسكوب 60 سم، حيث اكتشف حوالي 75000 من مجرات الأشعة تحت الحمراء فائقة الإضاءة (ULIRGs) كما زودنا بصور رائعة لسحب الغاز والغبار في الفضاء.

في ماي 2009، تم إطلاق "التلسكوب الفضائي هيرشل (the Herschel Space Observatory)" وهو أقوى وأكبر تلسكوب فضائي تم إطلاقه حتى الآن بقطر 3.5 م، مع "القمر الصناعي بلانك (Planck satellite)" الذي يبلغ قطره 4 م وارتفاعه 7.5 م ويزن 3.4 طن، في مدار L2 (نقطة لاغرانج الثانية). غطى هيرشل النطاق الطيفي من الأشعة تحت الحمراء البعيدة إلى الأطوال الموجية المليمترية (من 55 إلى $670\mu\text{m}$)، لوحظ حتى نهاية أبريل 2013 عندما نفذ سائل التبريد [11].



الشكل 4.2: التلسكوبات تحت الحمراء (القمر الصناعي الفلكي الخاص بالأشعة تحت الحمراء "IRAS" والتلسكوب الفضائي هيرشل).

5.2.2 تلسكوبات الأشعة فوق البنفسجية (UV Telescopes)

الضوء عند هذه الأطوال الموجية يمتصه الغلاف الجوي للأرض وبالتالي فإن الرصد عند هذه الأطوال الموجية يجب أن تتم من أعلى الغلاف الجوي أو من الفضاء، وذلك بإرسال تلسكوبات على متن أقمار صناعية لتلقي الأشعة القادمة من الأجرام السماوية.

كان القمر الصناعي "كوبرنيكوس (The Copernicus satellite)" المعروف أيضا باسم "المرصد الفلكي المداري-3 (OAO-3)" أول مهمة مدارية طويلة المدى مصممة لمراقبة الأطياف عالية الدقة في الأطوال الموجية فوق البنفسجية، تم إطلاقه في 21 أوت 1972 وحصل على 551 مصدرا من أطياف الأشعة فوق البنفسجية حتى توقف تشغيله في 1981. كما عمل "مستكشف الأشعة فوق البنفسجية الدولي (IUE: International Ultraviolet Explorer)" بين عامي 1978-1996، حيث تم الحصول على أكثر من 10^5 طيف من مصادر المجرات وخارج المجرات، كما ساهم بشكل كبير في معرفتنا لأنوية المجرات النشطة "AGN" [11].



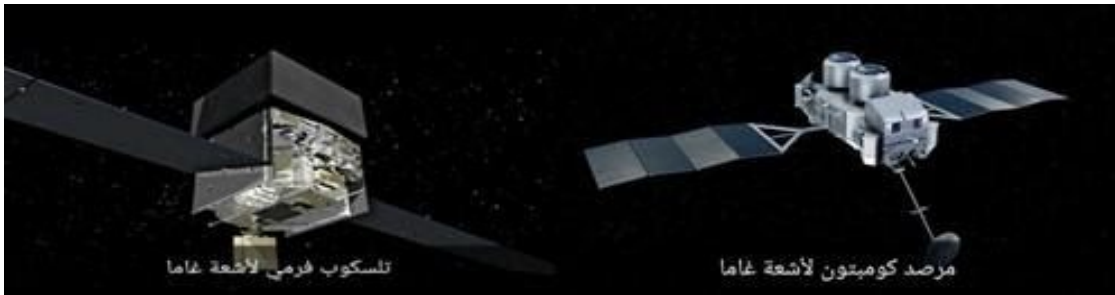
الشكل 5.2: التلسكوبات فوق البنفسجية (القمر الصناعي كوبرنيكوس، مستكشف الأشعة فوق البنفسجية الدولي "IUE").

5.2.2 5.2.2 تلسكوبات الأشعة غاما (Gamma-Rays Telescopes)

تم افتراض وجود إشعاع غاما لأول مرة في الخمسينيات، حيث تم تركيب أول تلسكوبات γ - ray على البالونات والصواريخ والأقمار الصناعية وذلك لأن الغلاف الجوي يمتص هذا الإشعاع.

تم إحراز تقدم هائل في علم الفلك عالي الطاقة مع إطلاق "مرصد كومبتون لأشعة γ (CGRO: the Compton Gamma Ray Observatory)" في عام 1991 الذي عمل لمدة 9 سنوات، من بين إنجازاته: اكتشاف حوالي 3000 انفجارات غاما (GRBs: Gamma Rays Bursts)، ساهم بشكل كبير في فهم طبيعة ومضات أشعة γ الغامضة، كما اكتشف العديد من أنوية المجرات النشطة "AGNs" في طاقات عالية جدا فوق 20MeV.

في جوان 2008 تم إطلاق "تلسكوب فرمي (Fermi telescope)" وهو يحمل جهازين رئيسيين: جهاز مراقبة انفجار أشعة γ (GBM: the Gamma-ray Burst Monitor) وتلسكوب المساحة الواسعة (LAT: the Large Area Telescope)، مع نطاق طاقة يتراوح بين 30MeV و 300GeV. حقق Fermi-LAT اكتشافات مهمة في السنوات الأولى من عملياته في مجال النجم النابض (pulsar)، وانفجارات γ ، ونوى المجرة النشطة و إشعاع الخلفية لأشعة γ [11].



الشكل 6.2: تلسكوبات الأشعة γ (مرصد كومبتون وتلسكوب فرمي لأشعة γ).

7.2.2 7.2.2 تلسكوبات الأشعة السينية (X-Rays telescopes)

تلسكوبات الأشعة السينية صممت خصيصا لرصد الأشعة السينية ذات الطاقات العالية القادمة من الأجرام الكونية. ونظرا لأن الغلاف الجوي للأرض يقوم بامتصاص الأشعة السينية بسبب قصر أطوالها الموجية، يجب أن يدور التلسكوب فوق الغلاف الجوي وفي الفضاء. ويتم إرسال هذه التلسكوبات بواسطة البالونات أو صواريخ التجارب أو أقمار صناعية.

يسمح التصوير بواسطة تلسكوبات الأشعة السينية من دراسة أعمق لامتداد مصادر الأشعة السينية الكونية، من خلال التصوير في مجال الأشعة السينية وتحديد الأطوال الموجية للأشعة السينية وتحليلها، وأيضا دراسة التغير الزمني لمصادر الأشعة السينية. أهم العناصر المكونة لهذه التلسكوبات هي البصرييات، عبارة عن مرايا مصنوعة من السيراميك أو رقائق معدنية مطلية بطبقة رقيقة من

مادة عاكسة (عادة تكون من الذهب). فهي تعتمد في عملها على أساس تركيز الأشعة في بؤرة لتكوين صورة [12].



الشكل 7.2: تلسكوبات الأشعة السينية (مرصد شاندرأ، مرصد نوستار ومرصد أكس أم نيوتن).

● مرصد شاندرأ للأشعة السينية (Chandra X-Ray observatory)

مرصد شاندرأ للأشعة السينية هو تلسكوب صمم خصيصا للكشف عن انبعاث الأشعة السينية من مناطق شديدة السخونة في الكون، وهو ضمن برنامج المراصد الكبرى لوكالة ناسا. تم إطلاقه يوم 23 جويلية 1999 بواسطة المكوك الفضائي كولومبيا، وضع في مدار على ارتفاع 139000 كلم في الفضاء. قدرة شاندرأ على التصوير عالي الدقة مكنت من تصوير بقايا النجوم المتفجرة والمادة حول الثقوب السوداء بما فيها الثقب الأسود في مركز درب التبانة والغاز الساخن في المجرات وعناقيد المجرات. يقوم مرصد سميثسونيان «Smithsonian's Astrophysical Observatory» في كامبردج بالإشراف على تشغيل القمر الصناعي ومعالجة البيانات وتوزيعها على الباحثين حول العالم من أجل تحليلها [13].

● مرصد نوستار (NuSTAR (The Nuclear Spectroscopic Telescope Array))

مرصد نوستار هو تلسكوب الأشعة السينية يعمل في نطاق الطاقات العالية من 3 إلى 73 KeV. هو المهمة 11 ضمن برنامج ناسا للتلسكوبات الفضائية (SMEX_11)، تم إطلاقه يوم 13 جوان 2012 على متن صاروخ Pegasus XL في مدار شبه دائري منخفض حول الأرض على ارتفاع حوالي 600 كلم. يوسع نوستار قوة التركيز التي تستخدمها مرصد الأشعة السينية منخفضة الطاقة مثل مرصد شاندرأ إلى طاقات عالية، مما يتيح له قوة الاختراق للأشعة السينية عالية الطاقة للتقيب في الغبار والغاز الكوني، واكتشاف الثقوب السوداء والتفاعلات التي تحدث بالقرب من أفق الحدث والنجوم النيوترونية المدفونة في قلب مجرة درب التبانة والمجرات الأخرى. أهداف نوستار العلمية الأساسية واسعة، تشمل دراسة مصادر الطاقة العالية، حيث يدرس مصادر الطاقة العالية في مجرة درب التبانة والمجرات البعيدة كالثقوب السوداء فائقة الكتلة في مراكز المجرات وذات الكتل النجمية،

كما يدرس النجوم النيوترونية، النجوم المتفجرة، النفاثات النسبوية والسحب الغازية، وهو أول تلسكوب يركز على دراسة الانبعاثات الضوئية عالية الطاقة للشمس [14].

● مرصد XMM-Newton observatory (X-Ray Multi Mission)

مرصد XMM-Newton هو تلسكوب خاص أرسلته وكالة الفضاء الأوروبية لرصد الكون في مجال الأشعة السينية ضمن برنامج "Horizon 2000" للعلوم. وهو أكبر قمر صناعي علمي أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية. تم إطلاقه في 10 ديسمبر 1999 على متن صاروخ أريان 504. قدرته على تحديد الأطوال الموجية للأشعة السينية مكنه من اكتشاف مصادر لها ودراستها، ساعد في حل عدد من الألغاز الكونية بدءاً من الثقوب السوداء إلى أصول الكون نفسه. مركز العمليات العلمية (XMM Newton (SOC الموجود في المركز الأوروبي لعلوم الفضاء هو المسؤول عن العمليات العلمية للتلسكوب من استقبال اقتراحات الرصد إلى التسليم النهائي للبيانات العلمية، كما يتضمن توفير مجموعة برمجيات رئيسية ونظام التحليل العلمي SAS التي يحتاجها الباحثون للاستغلال الأمثل لبيانات XMM Newton وموقع (XMM-Newton Science Archive) XSA أرشيف بيانات المرصد [15].

3.2 البيانات

تمر البيانات العلمية المرصودة بواسطة التلسكوبات بعدة مراحل قبل وصولها إلى الباحثين ليسهل استعمالها.

- **الحصول على البيانات من التلسكوب إلى الأرض:** يتم إرسال البيانات من التلسكوب إلى القمر الصناعي، أين يتم تجميعها وتخزينها، ثم إرسالها إلى مركز البحث على الأرض على دفعات كل يوم أو كل فترة أو كلما أمكن ذلك.
- **معالجة البيانات:** تتم معالجة البيانات في مركز البحث عن طريق سلسلة من خوارزميات الكمبيوتر، وتحويلها من القياس عن بعد أو بيانات خام إلى وحدات لها معنى علمي تمكن الباحثين من استعمالها بسهولة.
- **أرشيف البيانات:** يتم أرشفة البيانات وتخزينها في مواقع ليتمكن الباحثون من جميع أنحاء العالم الوصول إليها. يمكن أن تمر البيانات قبل نشرها بـ "مرحلة الملكية" مما يعني أن فريق الباحثين الذين طلبوا الرصد فقط يمكنهم الوصول إليها إلى أن يتم نشر نتائجهم، عادة ما تكون مرحلة الملكية لمدة عام واحد، وبعدها تتوفر البيانات بصفة حرة ومتاحة لكل من يرغب الوصول إليها.
- **تحليل البيانات:** لتحليل البيانات يمكننا الحصول على منحنيات الضوء التي تعبر عن تغير تدفق الفوتونات بدلالة الزمن. وعن طريق تحليلها يمكن استخلاص بعض

خصائص المصدر، حيث تكشف منحنيات الضوء كيف يتغير لمعان المصدر بمرور الوقت، فإذا كان المصدر يتغير بطريقة دورية من المحتمل أن يكون التغير إما من دوران المصدر نفسه أو دوران جرم آخر، ذلك لأن الدورات والمدارات تتكرر خلال فترات محددة حيث تضع الفترة التي يتكرر فيها منحنى الضوء حدوداً على كتلة وحجم المصدر.

4.2 طريقة استخراج بيانات مرصد XMM-Newton

من بين أهم وظائف مرصد XMM-Newton: رصد طيف الأشعة السينية الصادرة من الثقوب السوداء فائقة الكتلة الموجودة في مراكز المجرات ذات الأنوية النشطة (مثل المجرة NGC 7314 التي سنقوم بدراستها)، وإدراجها على شكل ملف بيانات ليتمكن مختلف الباحثين في مجال علم الفلك من دراسته.

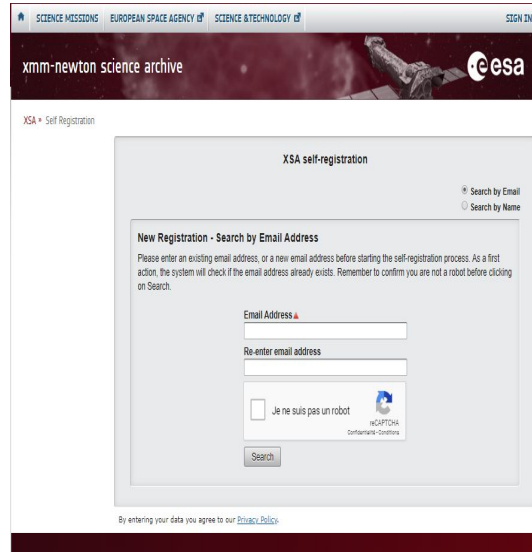
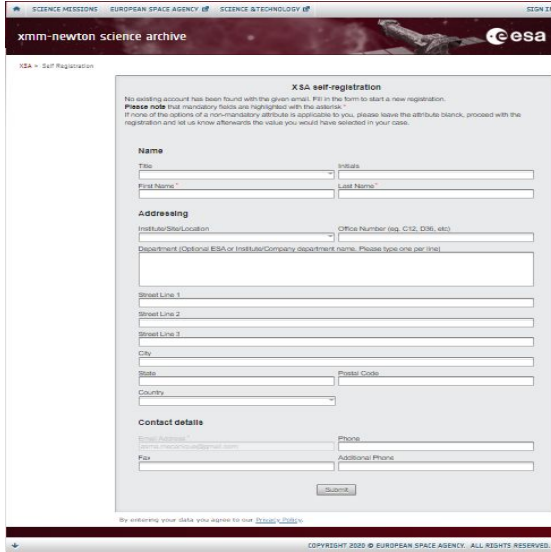
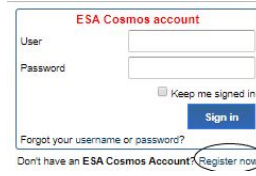
من أجل الحصول على هذه البيانات نتبع الخطوات التالية:

- ✓ ندخل إلى الموقع (XSA) XMM-Newton Science Archive (أو):
(/http://nxs.a.esac.esa.int)
- ✓ للبحث في هذا الأرشيف، ننقر فوق التعليمات Search فيظهر لنا الشكل (8.2)

الشكل 8.2: واجهة البحث الخاصة بموقع XMM-Newton.

ولكن قبل كتابة اسم المجرة المراد دراستها يجب علينا أولاً التسجيل في الموقع إذا لم يكن لدينا حساب،

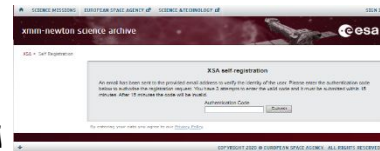
وذلك بالنقر على Sign in فتظهر لنا النافذة التالية: **ثم نضغط Register** **now** فيظهر لنا الشكل (9.2) ويليه الشكل (10.2)



الشكل 10.2: نافذة المعلومات الشخصية الخاصة

الشكل 9.2: النافذة الخاصة بكتابة الايميل.

بالمسجل.



لوضع الشفرة التي يتم إرسالها في الايميل.

✓ بعد التسجيل وكتابة اسم المستخدم وكلمة السر، يمكننا الدخول لاستخراج البيانات من الموقع وذلك بكتابة اسم المجرة (مثلاً NGC7314) في (الشكل 11.2)، يليه الشكل (12.2)

XMM-Newton Science Archive Search

Position: Name (selected), Equatorial, Galactic
 Target in: Field Of View (selected), Circle, Box
 Name: NGC7314 for Resolve
 NGC7314 resolved by Sesame

Filters for Observation, Proposal and Catalogue Searches

Display options

Observations	PPS Sources	Slew Observations	Catalogues
<input checked="" type="checkbox"/> Pointed Observations <input type="checkbox"/> Exposures <input checked="" type="checkbox"/> EPIC Exposures <input type="checkbox"/> OM Exposures <input type="checkbox"/> RGS Exposures <input type="checkbox"/> Proposals <input type="checkbox"/> Publications	<input type="checkbox"/> EPIC PPS Sources <input type="checkbox"/> OM PPS Sources <input type="checkbox"/> Slew PPS Sources	<input type="checkbox"/> Slew Observations <input type="checkbox"/> Slew Obs. Segments <input type="checkbox"/> Slew Publications	<input type="checkbox"/> 4XMM-DR9 Filtered Catalogue <input type="checkbox"/> 4XMM-DR9s Filtered Stack Cat <input type="checkbox"/> OM Source Catalogue <input type="checkbox"/> Slew Survey Clean Catalogue

Select All

Radiation Monitor Files

Search Clear

الشكل 11.2: النافذة الخاصة بكتابة اسم المجرة المراد دراستها، مع اختيار نوع البيانات المرغوب الاطلاع عليها.

EUROPEAN SPACE AGENCY SCIENCE & TECHNOLOGY AMERZOUG

XMM-Newton Science Archive

HOME SEARCH COMMAND & URL ACCESS INTERACTIVE ANALYSIS TAP QUERIES ASTROQUERY Data Analysis Basket

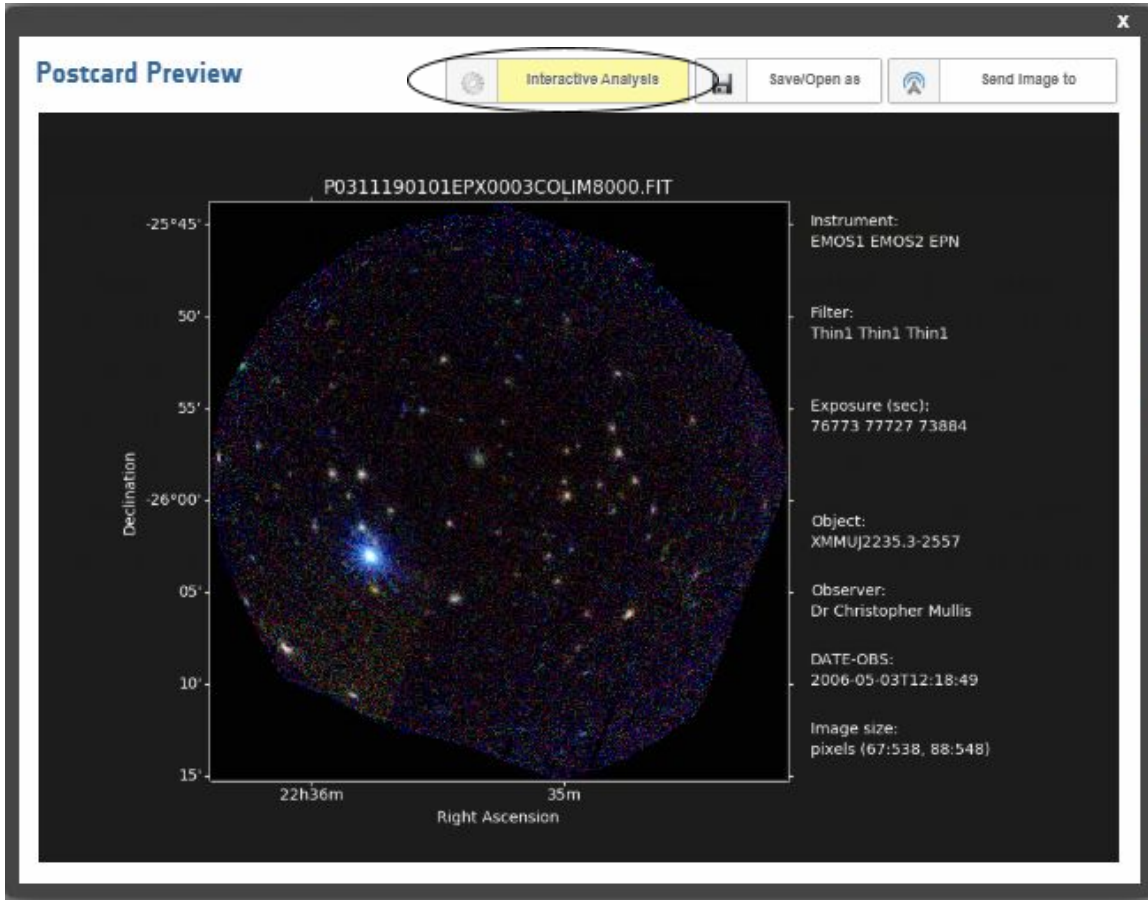
Results #1

OBSERVATIONS (0) X EPIC EXPOSURES (19)

Columns	Column units	Display selected	Add to Basket	Save table as	Send table to	RGS Spectra									
Obs.ID	EPIC	RGS	BKGD	ESA Sky	Target	RA	DEC	Rev	Distance	Start Date	End Date	Dur.	Target Type	PI name	Prop.
0725200301					NGC 7314	22h 35m 48.16s	-26s 03' 02.0"	2559	0.01	2013-11-28 15:12:50	2013-11-30 03:54:30	132100	NL SEYFERT 1 RADIO QUIET TYPE 1	Emmroulopoulos, Dimitrios	
0725200101					NGC 7314	22h 35m 49.21s	-26s 03' 02.0"	2461	0.01	2013-05-17 02:53:11	2013-05-18 17:54:24	145473	NL SEYFERT 1 RADIO QUIET TYPE 1	Emmroulopoulos, Dimitrios	
0790500101					NGC 7314	22h 35m 49.22s	-26s 03' 00.0"	3009	0.01	2010-05-14 12:43:24	2010-05-15 06:46:44	66000	SEYFERT RADIO QUIET TYPE 1.5	Zoghbi, Abderahmen	
0111790101					NGC7314	22h 35m 45.99s	-26s 03' 02.0"	258	0.05	2001-05-02 09:34:15	2001-05-02 21:58:38	44883	LINER RADIO QUIET TYPE 1	Brinkman, Bart	
0111790201					NGC7314	22h 35m 45.99s	-26s 03' 02.0"	258	0.05	2001-05-02 09:31:55	2001-05-02 09:28:55	10500	LINER RADIO QUIET TYPE 1	Brinkman, Bart	
031119010					XMMUJ2238.3-2567	22h 35m 20.56s	-26s 58' 00.0"	1172	7.02	2005-05-03 12:16:04	2005-05-04 11:58:44	83620	CLUSTER OF GALAXIES	Mullis, Christopher	CP

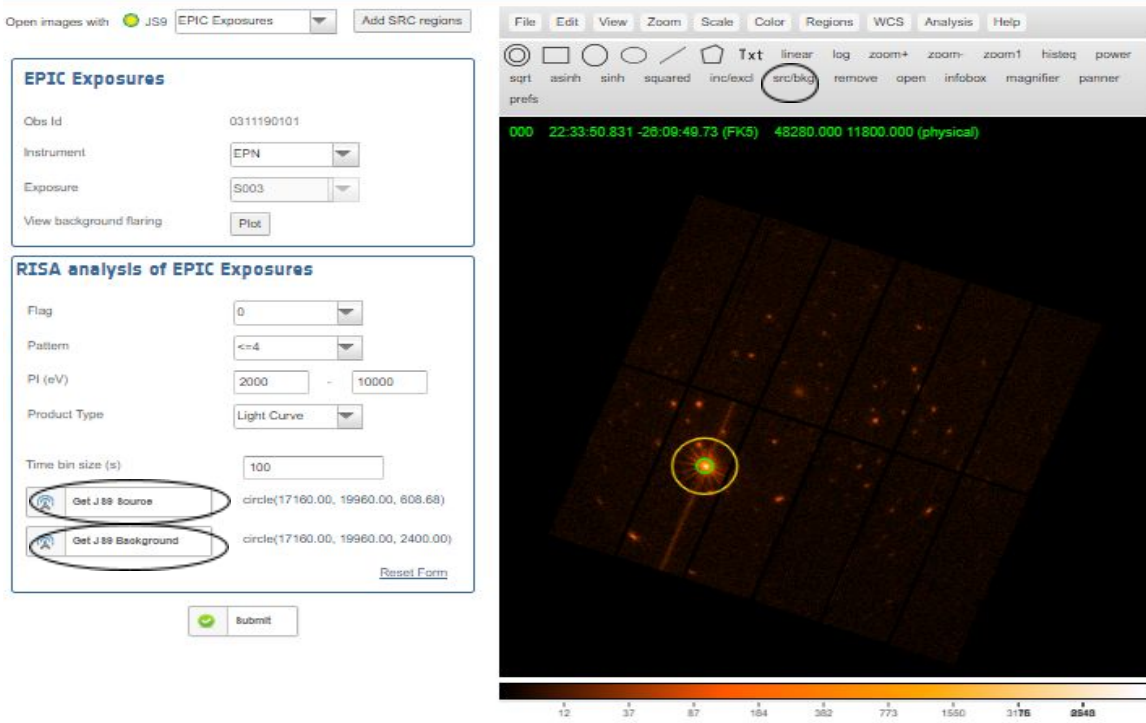
الشكل 12.2: نافذة تحوي على مختلف عمليات الرصد المتعلقة بالمجرة NGC 7314.

بعد ذلك نختار البيانات المراد دراستها (مثلا الرصد رقم "0311190101" لسنة 2006)، وذلك بالضغط على الصورة الموجودة في التعليمة EPIC، فيظهر لنا الشكل (13.2)



الشكل 13.2: نافذة تعرض المجرة المراد تحليلها.

بعدها نضغط "Interactive Analysis" فنتحصل على الشكل (14.2)

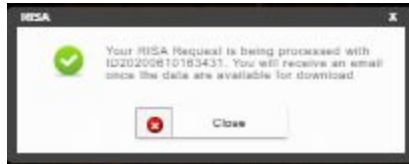


الشكل 14.2: نافذة تحليل البيانات لاستخراج منحنيات الضوء.

للحصول على منحنيات الضوء بالتفصيل نقوم بـ:

ملء المعلومات من: أداة (instrument)، مجال الطاقة (PI (eV)) نوع المنتج (product type)

نحدد المصدر بدائرة (التي باللون الأخضر)، ثم نضغط على "Get JS9 Source". وبعدها نحدد الخلفية المحيطة به بدائرة أخرى (التي باللون البرتقالي وذلك بالضغط على التعليمات (src/bkg)، ثم نضغط على "Get JS9 Background".



بعد الضغط على "Submit" تظهر لنا النافذة التالية، نضغط على "Close"، فيرسل لنا النظام رسالة عبر البريد الإلكتروني تحوي على رابط لتحميل معطيات نتائجنا (منحنيات الضوء).

● ملاحظة:

عند تنزيل ملف المعطيات فإنه يكون على شكل ملف مضغوط (أي: 'tar'.nom de fichier). ولتحويله إلى ملف من نوع ('.dat'.nom de fichier أو '.txt'.nom de fichier) للتمكن من رسمه يجب أن نتبع الخطوات التالية:

1. نضغط يمينا على اسم الملف ونختار 'nom de fichier' Extraira vers، فنحصل على ملف آخر يحتوي على نفس الاسم.



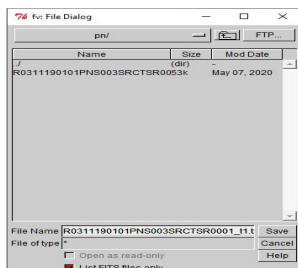
2. نقوم بتنزيل تطبيق اسمه «FV»

3. نذهب إلى "FV" ونبحث عن الملف الأخير ونقوم بفتحه، فتظهر لنا النافذة

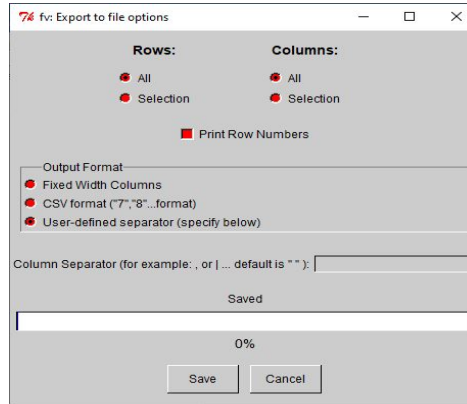
Index	Extension	Type	Dimension	View
0	Primary	Image	0	Header Image Table
1	RATE	Binary	6 cols X 821 rows	Header Hist Plot All Select
2	SRC_GTIS	Binary	2 cols X 1 rows	Header Hist Plot All Select
3	BKG_GTIS	Binary	2 cols X 1 rows	Header Hist Plot All Select
4	REG00106	Binary	5 cols X 1 rows	Header Hist Plot All Select

بعد اختيار RATE نضغط على All فنحصل على النافذة

Select	TIME	RATE	ERROR	FRAGEXP	BACKV	BACKE
All	D	E	E	E	E	E
Invert	s	count/s	count/s	fraction	count/s	count/s
	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify
1	2.630473812497E+008	1.799064E+000	2.085092E-001	8.630658E-001	2.219514E-001	1.760189E-002
2	2.630474812497E+008	2.117012E+000	2.259923E-001	8.685355E-001	2.675693E-001	1.926006E-002
3	2.630475812497E+008	1.514772E+000	1.901121E-001	8.805889E-001	1.941793E-001	1.629516E-002
4	2.630476812497E+008	1.522860E+000	1.929791E-001	8.678910E-001	2.053454E-001	1.687929E-002
5	2.630477812497E+008	1.532521E+000	1.918076E-001	8.774363E-001	1.989943E-001	1.652557E-002
6	2.630478812497E+008	1.400164E+000	1.829797E-001	8.653649E-001	1.655917E-001	1.517977E-002
7	2.630479812497E+008	1.334182E+000	1.780759E-001	8.681591E-001	1.553473E-001	1.467894E-002
8	2.630480812497E+008	1.778458E+000	2.040380E-001	8.773882E-001	2.017481E-001	1.663990E-002
9	2.630481812497E+008	1.335221E+000	1.823242E-001	8.542268E-001	1.818444E-001	1.601051E-002
10	2.630482812497E+008	1.599641E+000	1.978714E-001	8.592100E-001	2.060202E-001	1.699226E-002
11	2.630483812497E+008	1.476272E+000	1.890014E-001	8.719742E-001	1.933182E-001	1.633837E-002
12	2.630484812497E+008	1.525872E+000	1.925062E-001	8.745733E-001	2.065463E-001	1.686444E-002
13	2.630485812497E+008	1.439389E+000	1.862180E-001	8.703789E-001	1.826218E-001	1.589519E-002
14	2.630486812497E+008	1.379631E+000	1.832839E-001	8.698329E-001	1.841289E-001	1.596600E-002
15	2.630487812497E+008	1.386805E+000	1.818763E-001	8.707590E-001	1.873370E-001	1.521246E-002
16	2.630488812497E+008	1.623328E+000	1.988897E-001	8.678843E-001	2.180597E-001	1.727401E-002
17	2.630489812497E+008	1.711661E+000	2.032346E-001	8.610523E-001	2.069760E-001	1.701332E-002
18	2.630490812497E+008	1.362830E+000	1.792676E-001	8.781617E-001	1.618058E-001	1.489543E-002
19	2.630491812497E+008	1.535672E+000	1.909057E-001	8.620913E-001	1.704093E-001	1.542813E-002
20	2.630492812497E+008	1.442272E+000	1.854413E-001	8.635550E-001	1.658272E-001	1.521052E-002



نذهب إلى التعليمات File ونختار Export as text ... فتظهر لنا النافذة



وأخيرا نضغط Save

نضغط على Save فنتحصل على
للإحتفاظ بالملف.

الفصل الثالث: الدراسة الزمنية للمجرة NGC 7314

1.3 مقدمة

كما تطرقنا في الفصل الأول فإن دراسة المجرات النشطة واكتشاف خصائصها الفيزيائية تعتمد على دراسة الثقوب السوداء فائقة الكتلة المتواجدة في مراكزها. ومن بين أهم ما تتطرق له مختلف الأبحاث، إصدارات الأشعة السينية لأقراص التراكم. يوجد نوعان من إصدارات الأشعة السينية، الإصدار الأولي الذي ينتشر في كل الإتجاهات، حيث ينعكس جزء منه على قرص التراكم، و هو ما يسمى بالإصدار الثانوي.

عند رصد الأشعة السينية الصادرة عن قرص التراكم، هناك إمكانية رصد تأخر بين الإصدارين الأولي و الثانوي، هذا الأخير يمكن أن يتم رصده بعد مدة زمنية من رصد الإصدار الأولي. دراسة هذا التأخر الزمني تمكننا من معرفة حجم وبنية منطقة الانعكاس.

في عملنا سنقوم بدراسة منحنيات ضوء الأشعة السينية الخاصة بالمجرة النشطة NGC 7314 وتحليلها لاستنتاج التأخر الزمني الحاصل بين مختلف المجالات الطاقوية. حيث تم الاعتماد على البيانات التي تم رصدها بواسطة التلسكوب XMM Newton في المجال الطاقوي [2 - 10 keV]. وهذا باستعمال أهم الطرق الرياضية والبرمجيات المستخدمة في تحليل منحنيات ضوء المجرات النشطة التي تم رصدها بواسطة مسابير الأشعة السينية.

2.3 المجرة NGC 7314

المجرة NGC 7314 هي مجرة نشطة من نوع سيفرت 1 ذات خطوط طيفية ضيقة (NLS1: Narrow_line seyfert1)، تبلغ كتلتها حوالي 5×10^6 كتلة شمسية. لها انزياح نحو الأحمر يقدر بـ $z=0.0048$ ، تحتوي على ثقب أسود فائق الكتلة في مركزها وهو مصدر الأشعة السينية. تم رصدها بواسطة تلسكوبات الأشعة السينية عدة مرات، من بينها تلسكوب XMM Newton. كشفت عمليات الرصد للمجرة NGC 7314 عن وجود صدى للحديد مع تأخرات زمنية يبلغ ذروته في مجال الطاقة [6 - 7 keV] [16].

3.3 خواص البيانات المختارة للدراسة

تم تحميل ملف معطيات المجرة NGC 7314 الخاص بدراستنا من أرشيف XMM Newton ، يحتوي على عدة بيانات خاصة بالإشعاعات المرصودة بواسطة المسبار من خلال الكواشف MOS2، MOS1 و PN لعدة سنوات، حيث تمت معالجتها باستخدام نظام التحليل العلمي SAS.

رقم البيانات	سنة الرصد	مدة الرصد [s]
--------------	-----------	---------------

44663	2001	0111790101
83920	2006	0311190101
140473	2013	0725200101
132100	2013	0725200301

جدول 1.3: خواص البيانات المختارة للدراسة

4.3 طرق تحليل فورييه (Fourier analysis techniques)

تعتبر تحويلات فورييه من أهم طرق التحليل الرياضية المستعملة في علم الفلك لتحليل منحنيات ضوء الأشعة السينية في المجرات النشطة والبحث عن التأخر الزمني. وتعتبر الأكثر استعمالاً في تحليل الإشارات الدورية والانتقال من التحليل في مجال الزمن إلى التحليل في مجال الترددات.

من أجل كل دالة $f(x)$ حقيقية أو مركبة، يعطى تحويل فورييه $F(s)$ بالعلاقة التالية:

$$F(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-2\pi isx} dx \dots\dots\dots(1.3)$$

حيث: x يمثل الزمن t ، و s يمثل التردد θ (مقلوب الزمن) [17].

1.4.3 تحويل فوري المتقطع (The discret Fourier transform (DFT))

تحويل فوري المتقطع (DFT) هو عملية تحويل للإشارات المتقطعة في فضاء الزمن إلى إشارات في مجال الترددات. ولأنه في عمليات الرصد الفلكية نتعامل مع الإشارات التي يتم أخذ عينات منها بشكل متقطع على فترات زمنية ثابتة أو لفترة زمنية محددة أو دورية نستخدم تحويل فوري المتقطع.

تحويل فوري المتقطع X لمنحنى الضوء x الذي يتكون من تدفقات تقاس في مجالات زمنية متجاورة ذات فارق زمني (Δt) يعرف بـ:

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k \exp(2\pi i n k / N) \dots\dots\dots(2.3)$$

حيث: x_k تمثل قيمة منحنى الضوء و X_n يمثل تحويل فوري المتقطع عند كل تردد فوري f_n .
(حيث: $n=1,2,3\dots N/2$)، وبالتالي فإن التردد الأدنى هو مقلوب مدة الرصد، والحد الأقصى هو التردد الأقرب .

وتعطى عبارة مربع تحويل فوري المتقطع لمنحنى ضوء بالعلاقة التالية:

$$|X_n|^2 = X_n^* X_n \dots\dots\dots(3.3)$$

حيث X_n^* هو المرافق المركب ل X_n ، أما عبارة كثافة طيف القدرة PSD تعطى كما يلي:

$$P_n = \frac{2\Delta t}{x^2 N} |X_n|^2 \dots\dots\dots(4.3)$$

حيث تمثل متوسط تدفق منحنى الضوء [18].

2.4.3 تحويل فورييه السريع (The fast Fourier transform(FFT))

تحويل فورييه السريع (FFT) هو خوارزمية رقمية لحساب تحويل فوري المتقطع (DFT) حيث يتم تقسيم تحويل فوري المتقطع إلى تحويلات صغيرة جدا ومتتالية. في كثير من الأحيان يتم تقييد البيانات بواسطة هذه الخوارزمية بجعل عدد المجالات N مساوي لأس العدد 2 [19].

5.3 طيف التقاطع والتأخر الزمني (The cross spectrum and Time delay)

يعطى طيف التقاطع لفورييه بين منحنى ضوء $X(t)$ وباقي منحنيات الضوء $Y(t)$ مع تحويل فورييه المتقطع ($DFTs$) X_n و Y_n بالعلاقة:

$$C_{XY,n} = X_n^* Y_n \dots\dots\dots(5.3)$$

يمكننا أن نرى كيف يتم استخدام طيف التقاطع لاستنتاج التردد المتعلق بالتأخر الزمني بين مجالين من خلال النظر في التمثيل الأسّي المركب لتحويلات فورييه:

$$X_n = A_{X,n} \exp [i\psi_n] \dots\dots\dots(6.3)$$

حيث $A_{X,n}$: الحجم أو السعة المطلقة لتحويل فورييه.

ψ_n : طور الإشارة (التي يتم توزيعها بشكل عشوائي بين $-\pi$ و π) عند التردد f_n .

وبالتالي فإن منحنى الضوء $Y(t)$ مرتبط خطيا مع طور الإشارة إضافية φ_n عند التردد f_n له تحويل فورييه:

$$Y_n = A_{Y,n} \exp [i(\psi_n + \varphi_n)] \dots\dots\dots(7.3)$$

بالضرب في مرافق X_n المركب، الطور يلغى وطيف التقاطع يعطى بـ :

$$C_{XY,n} = A_{X,n} A_{Y,n} \exp (i\varphi_n) \dots\dots\dots(8.3)$$

مع طور طيف التقاطع يعطي تأخر الطور بين منحنيات الضوء، كما هو متوقع.

في حالة وجود أي إشارة غير مرتبطة بين منحنى الضوء (على سبيل المثال، ضوضاء بواسون (Poisson noise)، إشارة غير متماسكة جوهريا، أو بسبب وجود مكون إضافي متباين في نطاق طاقة واحدة)، ينبغي حساب متوسط الطيف الترددي عبر ترددات فورييه في مجال تردد ν_j معين، وكذلك عبر العديد من قطع منحنى الضوء، لتقليل تأثيرات الضوضاء:

$$\overline{C_{XY}}(\nu_j) = \frac{1}{KM} \sum_{n=i,i+K-1} \sum_{m=1,M} C_{XY,n,m} \dots\dots\dots(9.3)$$

إن طيف التقاطع ذي الطيف الناتج $\varphi(\nu_j)$ يعطي متوسط تأخر الطور بين منحنى ضوء في مجال تردد ν_j ، وبالتالي التأخر الزمني يعطى بالعلاقة:

$$\tau(\nu_j) = \varphi(\nu_j) / (2\pi\nu_j) \dots\dots\dots(10.3)$$

غالبا ما يتم تحويل الطور إلى تأخر زمني لتسهيل تفسير البيانات، ولكن نظرا لأن الطور يقتصر على المجال $[-\pi, \pi]$ فيجب توخي الحذر عند تفسير أي تأخير زمني يتوافق مع تأخر الطور بالقرب من هذه الحدود. أما بالنسبة لمجال الترددات الواسعة، ليس من الواضح دائما القيمة التي يجب استخدامها لتردد المجال ν_j للحصول على التأخر الزمني [18].

6.3 التماسك والأخطاء (The coherence and errors)

يعرف التماسك γ^2 في مجال التردد ν_j بالعلاقة:

$$\gamma^2(\nu_j) = \frac{|\overline{C_{XY}}(\nu_j)|^2 - n^2}{P_X(\nu_j)P_Y(\nu_j)} \dots\dots\dots(11.3)$$

حيث n^2 : عنصر متحيز، ينشأ لأن مستوى ضوءا بواسون يساهم في معامل مربع طيف التقاطع. يمكن استنتاج التماسك من خلال التحويلات الخطية بين منحنيات الضوء، كما يمكن أن يحدث انخفاض في التماسك أيضا بسبب التحويلات غير الخطية. هندسيا، يعطي التماسك مؤشرا للانتشار على ناقل طيف التقاطع الناجم عن البيانات غير المترابطة، وبالتالي يمكن استخدامه لاستخلاص الخطأ في تأخر الطور:

$$\Delta\phi(v_j) = \sqrt{\frac{1-\gamma^2(v_j)}{2\gamma^2(v_j)KM}} \dots\dots\dots(12.3)$$

أما الخطأ في التأخر الزمني فهو ببساطة:

$$\Delta\tau = \Delta\phi/(2\pi v_j) \dots\dots\dots(13.3)$$

إحدى النقاط المهمة التي يجب ملاحظتها هنا هي أن التماسك المستخدم لتقدير الخطأ في التأخر هو "التماسك الخام" الذي تكمن ميزته في أنه يمكن تحديد أخطاء التأخر بسهولة من البيانات دون أي افتراضات أخرى، لأن الكميات المستخدمة هي ببساطة طيف التقاطع و PSD المرصودين.

يمكن أن نواجه مشكلة بمجرد أن يصبح التماسك الخام مشابها لعنصر التحيز n^2 (لأن الإفراط في التحيز سيؤدي إلى قيم سلبية للتماسك)، في هذه الحالة: يصبح التماسك الخام $\frac{1}{KM}$ والخطأ المقدر في تأخر الطور سيشبع عند $\Delta\phi = 1/\sqrt{2}$ [18].

فيما يلي التطبيق العملي لطرق فورييه الموضحة أعلاه على بيانات حقيقية:

7.3 طيف التأخر الزمني بدلالة التردد (The Time delay-frequency spectrum)

لحساب التأخر الزمني بدلالة الترددات، نتبع الخطوات المشروحة في [18] والتي يمكن تلخيصها فيما يلي:

1. تحديد منحنيات الضوء.
2. حساب تحويلات فورييه لكل منحنى ضوئي (المعادلة (2.3)).
3. حساب طيف التقاطع (Cross Spectrum: CS) بين تحويلي فورييه لمنحنيين ضوئيين (المعادلة (5.3)).
4. تقسيم الترددات (الناتجة من تحويل فورييه) إلى مجالات جزئية، وتمثيل كل مجال بمعدل الترددات فيه.

5. حساب التأخر الزمني (المعادلة (10.3)).

6. لحساب الارتياح على التأخر الزمني، نستعمل طيف القدرة (Power Spectrum) لكل منحني ضوئي ونحسب مقدار التماسك Coherence (المعادلة (11.3))، ثم الإرتياح على الطور phase (المعادلة (12.3))، وأخيرا نحصل على الإرتياح على التأخر الزمني.

8.3 طيف التأخر الزمني بدلالة الطاقة (The Time delay-energy spectrum)

من المفيد بشكل خاص معرفة التأخر الزمني بدلالة الطاقة للكشف عن المكونات الطيفية التي تساهم في التأخر، وبالتالي العلاقة السببية بين المكونات الطيفية المختلفة. كما يساعد على تحسين الإشارة من خلال اختيار مجال تردد أوسع لطيف التقاطع.

فيما يلي خطوات حساب طيف التأخر الزمني بدلالة الطاقة [18]:

1. نختار مجال طاقة مرجعي، ونقوم بإنشاء منحني الضوء الخاص به انطلاقا من بيانات مرصد XMM-Newton.

2. نتبع نفس الخطوات (من 2 إلى 5) المذكور أعلاه في حساب التأخر الزمني بدلالة التردد.

3. لحساب الارتياح على التأخر الزمني، نستعمل طيف القدرة لكل منحني ضوئي ونحسب مقدار التماسك (المعادلة (11.3))، ثم الخطأ في التأخر الزمني (المعادلة (13.3))، وأخيرا نحصل على منحني تغير التأخر الزمني بدلالة الطاقة.

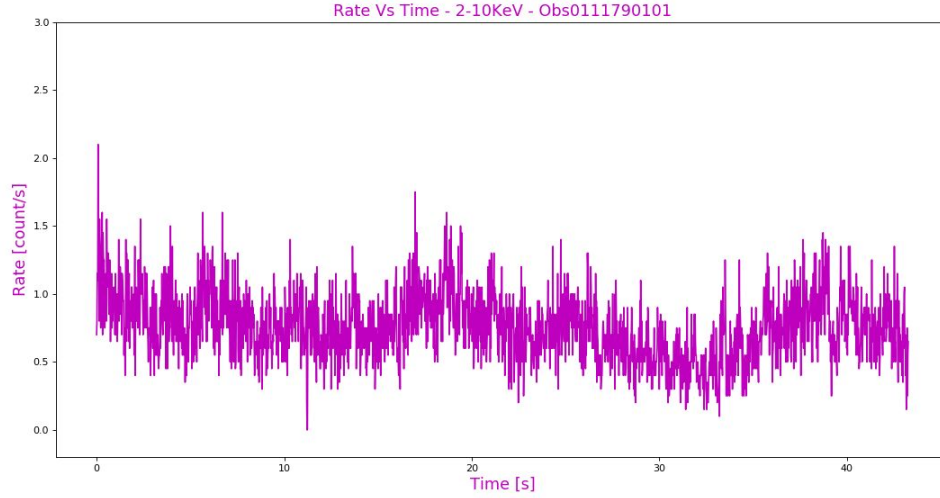
من أجل محاكاة ودراسة البيانات التي يتم جمعها بإشعاع الأشعة السينية المرصودة بواسطة مرصد XMM-Newton لطيف المجرة NGC 7314، سنستعمل لغة البرمجة "Python" لرسم منحنيات الضوء و حساب التأخر الزمني.

9.3 دراسة التأخر الزمني

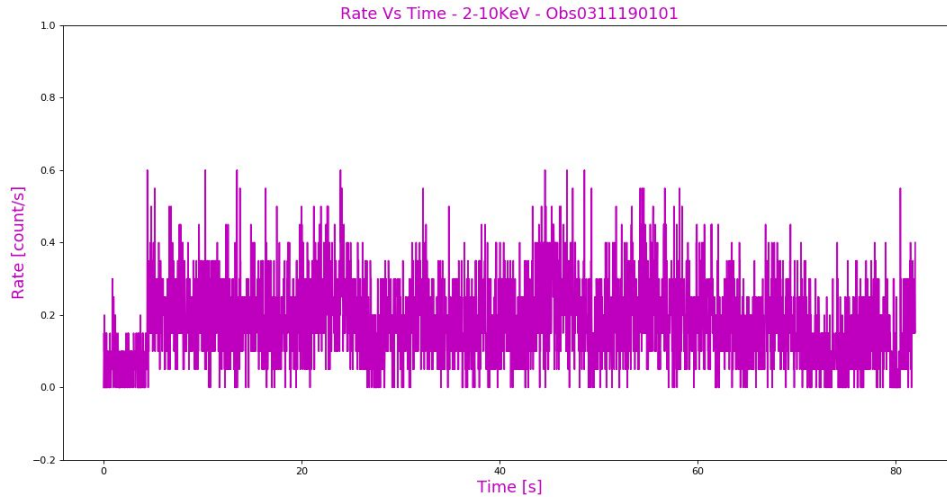
نقوم بدراسة التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال [2 – 10 keV] للبيانات "0111790101"، "0311190101"، "0725200101" و "0725200301" حيث تحتوي البيانات على الزمن، التدفق والارتياح عليه للمجال الطاقوي [2 – 10 keV]، والتي تساعدنا في رسم منحنيات الضوء وحساب التأخر الزمني وارتياح القياس.

نتج منحنيات الضوء في المجال [2 – 10 keV] بخطوات 1 KeV ونحصل على 8 منحنيات ضوئية كل منحنى في مجال من مجالات الطاقة التالية ([2 – 3] ، [3 – 4] ، [4 – 5] ... [9 – 10 KeV]).

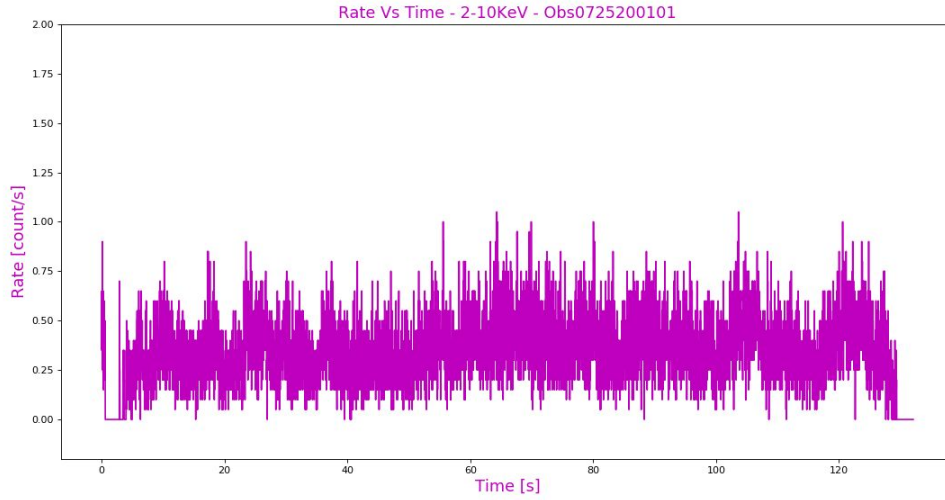
من خلال البيانات "0111790101"، "0311190101"، "0725200101" و"0725200301" تمكنا من رسم منحنيات الضوء الممثلة في الأشكال (1.3)، (2.3)، (3.3) و(4.3):



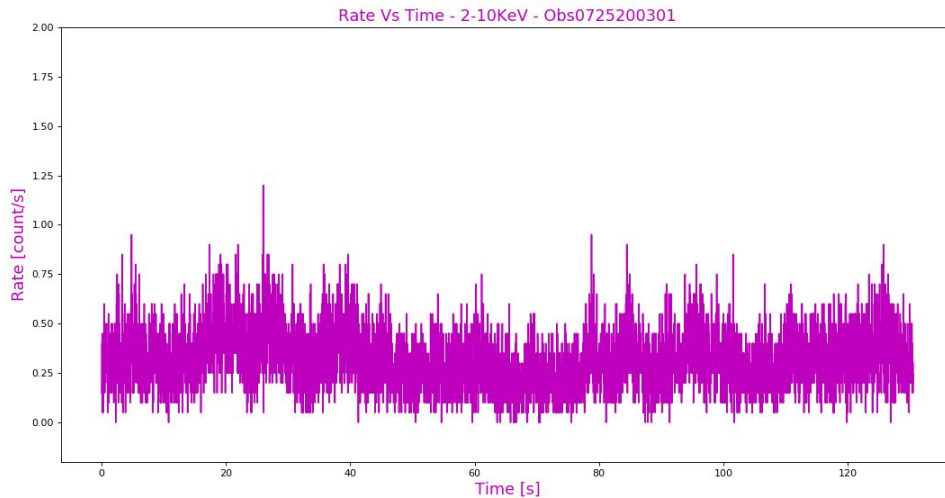
الشكل 1.3: منحنى ضوء المجرة النشطة NGC 7314 من خلال البيانات "0111790101" المرصودة بواسطة المسبار XMM-Newton في المجال [2 – 10 keV].



الشكل 2.3: منحنى ضوء المجرة النشطة NGC 7314 من خلال البيانات "0311190101" المرصودة بواسطة المسبار XMM-Newton في المجال $[2 - 10 \text{ keV}]$.



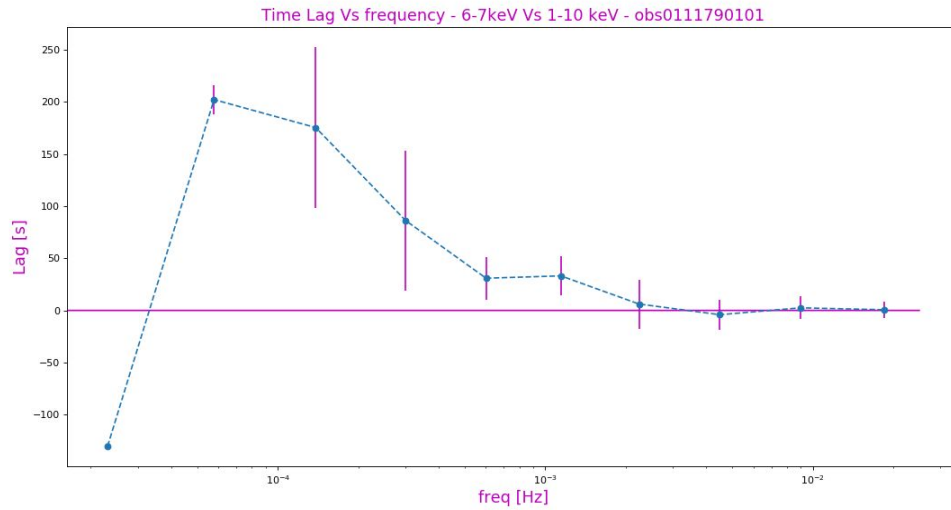
الشكل 3.3: منحنى ضوء المجرة النشطة NGC 7314 من خلال البيانات "0725200101" المرصودة بواسطة المسبار XMM-Newton في المجال $[2 - 10 \text{ keV}]$.



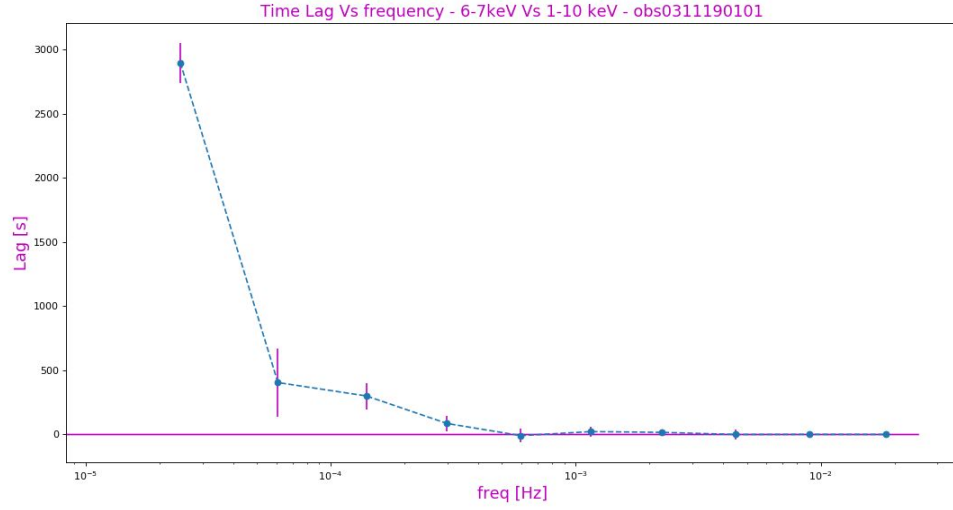
الشكل 4.3: منحنى ضوء المجرة النشطة NGC 7314 من خلال البيانات "0725200301" المرصودة بواسطة المسبار XMM-Newton في المجال $[2 - 10 \text{ keV}]$.

نلاحظ من خلال الأشكال (1.3)، (2.3)، (3.3) و(4.3): التي تمثل التدفق "Rate" بدلالة الزمن "Time"، أن المنحنيات الضوئية تتميز بتغيرات كبيرة جدا في التدفق على طول المجال الزمني.

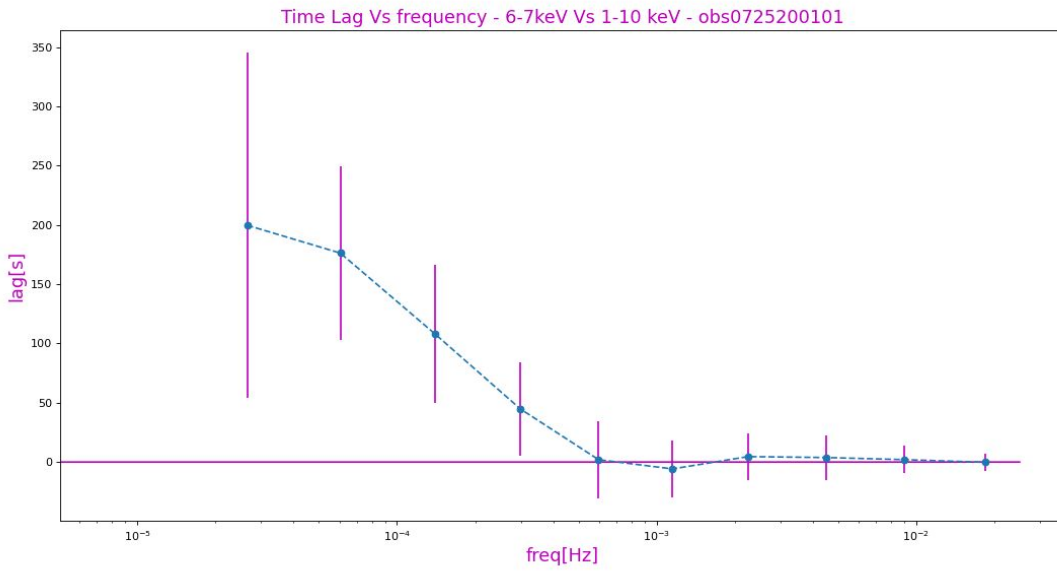
قبل حساب التأخر الزمني بدلالة الطاقة، علينا أولا تحديد قيمة مجالات الترددات التي يكون فيها التأخر الزمني كبير، وهذا ما تبينه منحنيات التأخر الزمني بدلالة الترددات بين منحنى الضوء في مجال الطاقة $6-7 \text{ KeV}$ وباقي منحنيات الضوء المتبقية الموضحة في الأشكال (5.3)، (6.3)، (7.3) و(8.3):



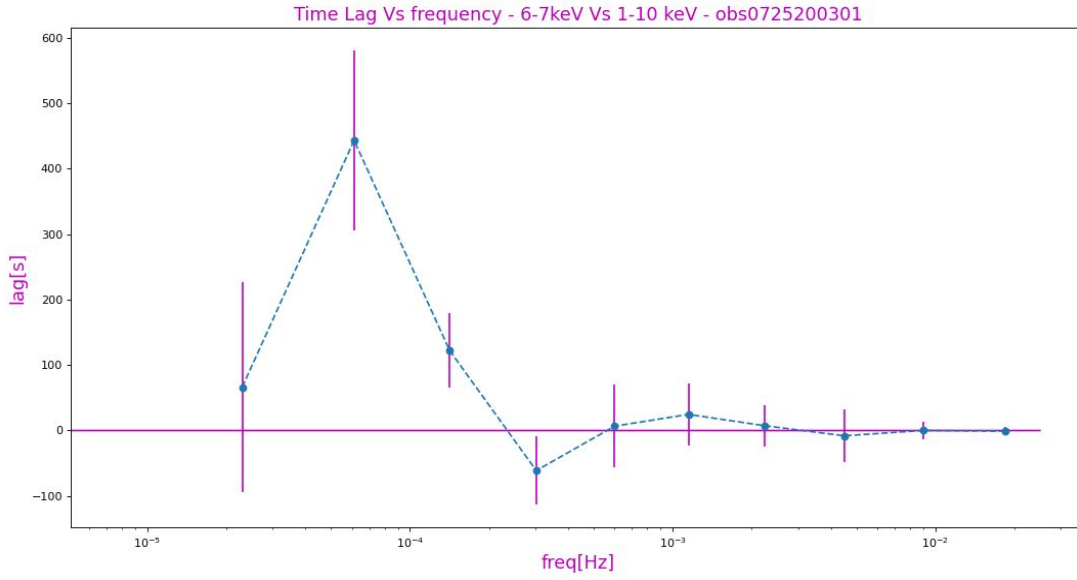
الشكل 5.3: التأخر الزمني بدلالة الترددات بين $6-7 \text{ KeV}$ وباقي منحنيات الضوء المتبقية من خلال البيانات "0111790101".



الشكل 6.3: التأخر الزمني بدلالة الترددات بين [6-7]KeV وباقي منحنيات الضوء المتبقية من خلال البيانات "0311190101".



الشكل 7.3: التأخر الزمني بدلالة الترددات بين [6-7]KeV وباقي منحنيات الضوء المتبقية من خلال البيانات "0725200101".

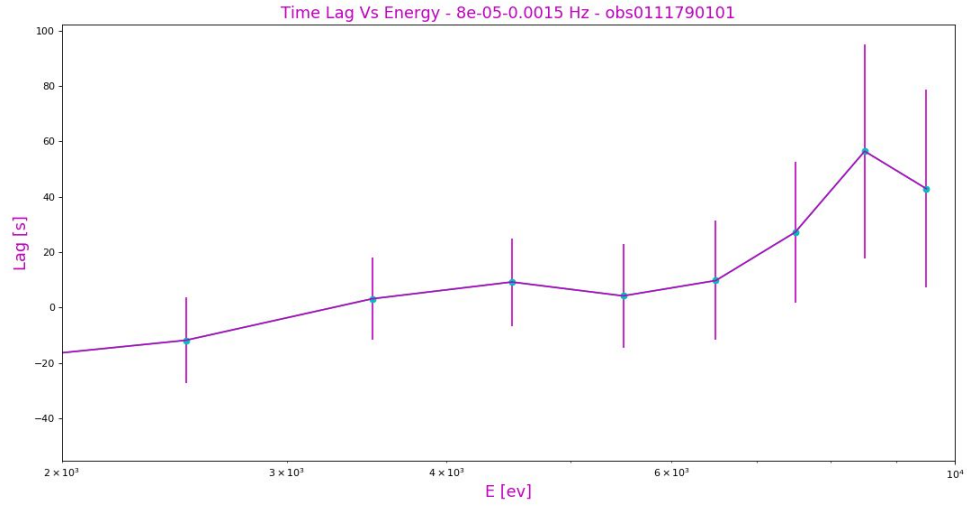


الشكل 8.3: التأخر الزمني بدلالة الترددات بين [6-7]KeV وباقي منحنيات الضوء المتبقية من خلال البيانات "0725200301".

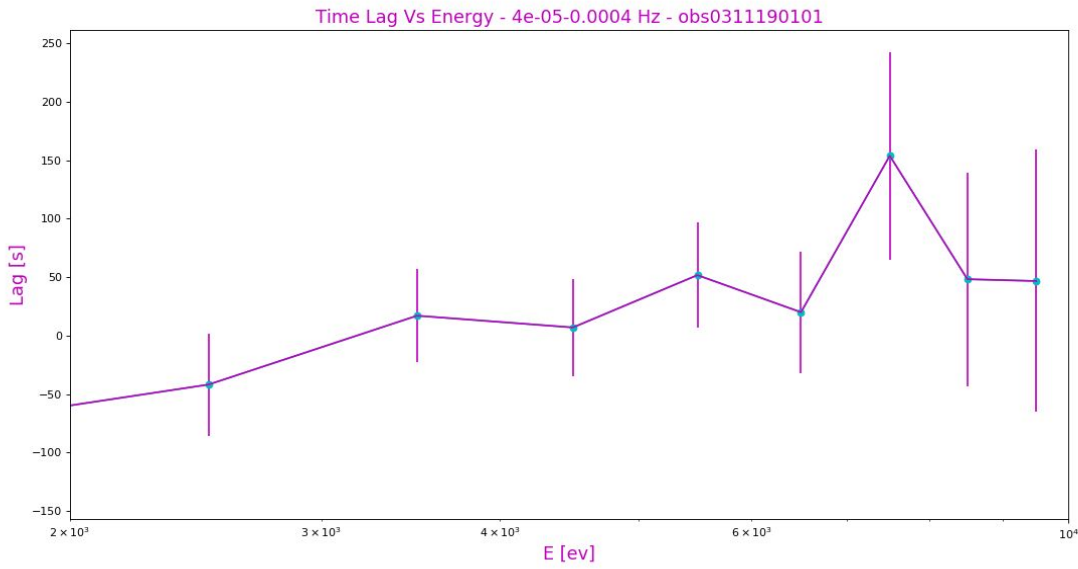
نلاحظ من خلال الأشكال (5.3)، (6.3)، (7.3) و(8.3): التي تمثل التأخر الزمني "Lag" بدلالة الترددات "freq"، أنه في مجال قيم الترددات الضعيفة يزداد التأخر الزمني، بينما يبدأ في التناقص كلما زادت قيم الترددات (أي في الترددات الكبيرة).

حساب التأخر الزمني بدلالة الطاقة:

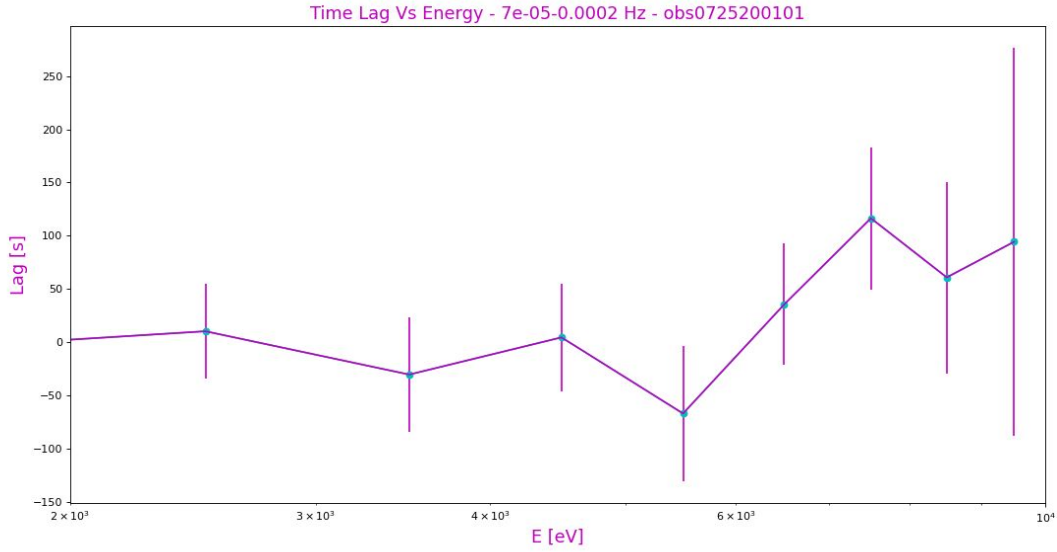
نحسب التأخر الزمني بين المنحنى الأول وباقي المنحنيات وذلك عن طريق اختيار مجال ترددات مناسب (لأننا نتعامل مع تحويلات فورييه)، وفي ما يلي تمثيلات لمختلف منحنيات التأخر الزمني بدلالة الطاقة:



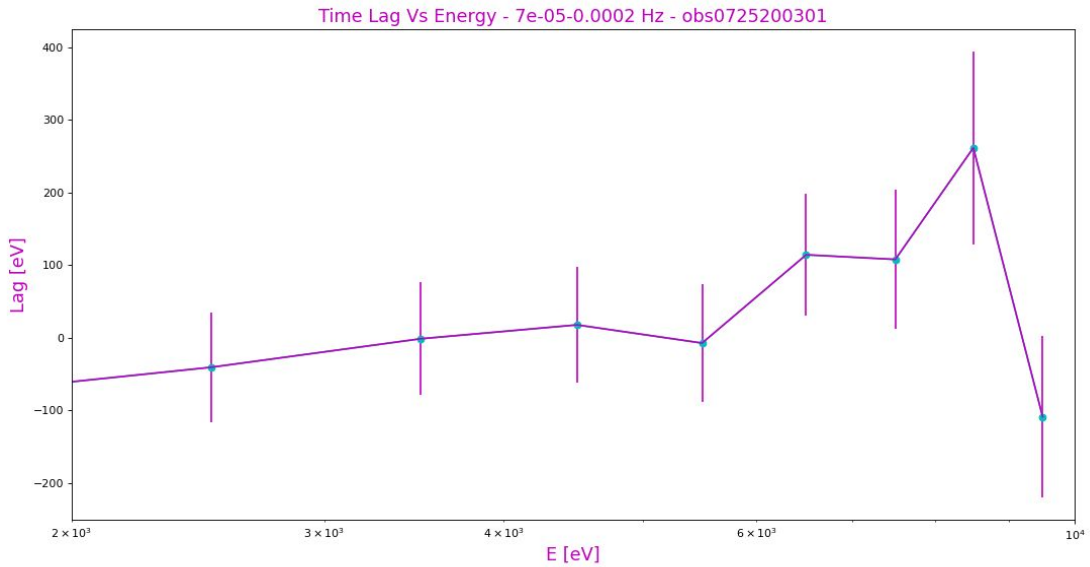
الشكل 9.3: التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال الترددي [$8 \times 10^{-5} - 1.5 \times 10^{-3} \text{ Hz}$] من خلال البيانات "0111790101".



الشكل 10.3: التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال الترددي [$4 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-4} \text{ Hz}$] من خلال البيانات "0311190101".



الشكل 11.3: التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال الترددي $[2 \times 10^{-4} \text{ Hz} - 7 \times 10^{-5} \text{ Hz}]$ من خلال البيانات "0725200101".



الشكل 12.3: التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال الترددي $[2 \times 10^{-4} \text{ Hz} - 7 \times 10^{-5} \text{ Hz}]$ من خلال البيانات "0725200301".

مناقشة المنحنيات

تمثل الأشكال (9.3)، (10.3)، (11.3) و(12.3) منحنيات التأخر الزمني بدلالة الطاقة "E" في مجالات ترددية مختلفة للبيانات "0311190101"، "0111790101"، "0725200101" و "0725200301" حيث نلاحظ:

- في المجال الترددي $[8 \times 10^{-5} - 1.5 \times 10^{-3} Hz]$ للبيانات "0111790101": تأخر زمني واضح في المجال الطاقوي [8-7] KeV مع وجود ترتيب أكبر مقارنة بالمجالين [3-2] KeV و [7-6] KeV.
- في المجال الترددي $[4 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-4} Hz]$ للبيانات "0311190101": تأخر زمني واضح في المجالين الطاقويين [8-7] KeV و [7-6] KeV مع وجود ترتيب أكبر مقارنة بالمجال [3-2] KeV.
- في المجال الترددي $[7 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4} Hz]$ للبيانات "0725200101": تأخر زمني واضح في المجال الطاقوي [8-7] KeV مقارنة بالمجال [7-6] KeV، بينما التأخر في المجال [3-2] KeV منعدم تقريبا، مع وجود ترتيب قليل على طول مجال الطاقة.
- في المجال الترددي $[7 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4} Hz]$ للبيانات "0725200301": تأخر زمني واضح في المجال الطاقوي [8-7] KeV مقارنة بالمجالين [3-2] KeV و [7-6] KeV، مع وجود ترتيب قليل على طول مجال الطاقة.

تفسير التأخر الزمني

من خلال ملاحظة المنحنيات والنتائج المتحصل عليها وجدنا:

- تغيير مجال الترددات يؤثر على قيمة التأخر الزمني.
- تظهر منحنيات الضوء في مجالات الطاقات الكبرى تأخرا زمنيا كبيرا مقارنة بمنحنيات الضوء في الطاقات الصغرى التي تمثل الإصدار المباشر.

- كنا نتوقع تأخر زمني واضح في مجال الطاقة [6-7] KeV الذي يوافق الإشعاع المنعكس و منحنى الخط الطيفي للحديد، لكن التأخر الزمني يبدو أهم في المجال [7-8] KeV.
- نحتاج إلى تجميع معطيات كل الأرصاد مع بعضها للحصول على معطيات أكثر، وحساب التأخر الزمني.

الخطاتمة

الخاتمة

في هذه المذكرة قمنا بدراسة التغيرات الزمنية لطيف الأشعة السينية للمجرة النشطة NGC 7314 التي ينعكس جزء منها على قرص التراكم. هذا الأخير هو دليلنا لدراسة الثقوب السوداء والتي تطرقنا إليها من منظور الفيزياء الفلكية خاصة الثقوب السوداء فائقة الكتلة المتواجدة في مراكز المجرات النشطة. من ثم تطرقنا لتلسكوبات رصد الأجرام السماوية بمختلف أنواعها، والتي تشهد تطورا كبيرا حاليا. وبشكل خاص تلسكوبات الأشعة السينية، وكيفية نقل استخراج بيانات الأجرام السماوية منها.

قمنا بدراسة منحنيات ضوء الأشعة السينية الخاصة بالمجرة النشطة NGC 7314 في مجال الطاقة $KeV[2-10]$ من خلال البيانات المرصودة بواسطة المسبار XMM-Newton، مع شرح للطرق الرياضية والعملية المستعملة في تحليل البيانات. ثم قمنا بحساب التأخر الزمني الحاصل بين الإصدار المباشر والإصدار المنعكس على قرص التراكم في مجالات طاقة مختلفة، والذي يمكننا من معرفة بنية وحجم قرص التراكم. فوجدنا أن مجال الترددات الضعيفة هو أحسن مجال يظهر فيه التأخر الزمني، حيث يكون واضحا مع ارتياب أقل، على عكس من مجال الترددات العالية حيث يكون التأخر الزمني غير واضح مع ارتياب أكبر.

- [1] Kenneth R. Lang, « Essential Astrophysics », Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013-Online ISBN 978-3-642-35963-7.
- [2] « A Hole in the Black Hole », Open Physics Collaboration. Article February 27, 2020.
- [3] Ramesh Narayan, « Black Holes in astrophysics », New J. Phys. 7 199, 2005.
- [4] Jean-Pierre Luminet, « Black Holes: A General Introduction », Cambridge University Press, 28 août 1992.
- [5] Jenny E. Greene, Jay Strader and Luis C. Ho, « Intermediate-Mass Black Holes », Astrophysics of Galaxies, 20 Mar 2020.
- [6] Khan, Fazeel Mahmood, « Dynamics and Evolution of Supermassive Black Holes in Merging Galaxies », Heidelberg, 2011.
- [7] Kamraj, Nikita, « Probing the Physical Properties of the Corona in Accreting Black Holes », Astro2020: Decadal Survey on Astronomy and Astrophysics, science white papers, no. 126; Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 51, Issue 3, id. 126 (2019).
- [8] V. Karas, J. Svoboda, & M. Zjacek, « Selected Chapters on Active Galactic Nuclei as Relativistic Systems », Proceedings of the Summer School on Relativistic Accretion: Theoretical Models and Their Application to Observations (ZARM, Bremen, 26-30 September 2016).
- [9] Hannu Karttunen, Pekka Kröger, Heikki Oja, Markku Poutanen and Karl Johan Donner, « Fundamental Astronomy. Sixth Edition », Springer 2016.
- [10] Fabian, A. C, « Broad iron lines in active Galactic Nuclei », The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 112, Issue 775, pp. 1145-1161.
- [11] Peter Schneider, « Extragalactic Astronomy and Cosmology-An Introduction », Springer-Verlag Berlin Heidelberg, eBook ISBN 978-3-540-33175-9.
- [12] Brunel Road, Houndmills, Basingstoke, Hampshire, « X-Ray Telescopes », Institute of Physics Publishing, 2001.
- [13] M. C. Weisskopf, « Chandra X-Ray Observatory (CXO): Overview », Proc.SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 4012, 2000.
- [14] Fiona A. Harrison, « THE NUCLEAR SPECTROSCOPIC TELESCOPE ARRAY (NuSTAR) HIGH-ENERGY X-RAY MISSION », The Astrophysical Journal, Volume 770, Issue 2, article id. 103, 19 pp. (2013).

[15] <https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton>

[16] A. ZOGHBI, «DISCOVERY OF Fe K α X-RAY REVERBERATION AROUND THE BLACK HOLES IN MCG–5-23-16 AND NGC 7314», The Astronomical Journal, Volume 767(2), 121, 6pp, (2013).

[17] <https://www.cv.nrao.edu/course/ast534/FourierTransforms.html>

[18] P. Uttley, «X-ray reverberation around accreting black holes» vol. 22, 02 Aug 2014.

[19] M. van der Klis, «Fourier Techniques in X-Ray Timing», Timing Neutron Stars, eds. H. Ogelman and E.P.J. van den Heuvel. NATO ASI Series C, Vol. 262, 1988.

ملخص

إن دراسة التغيرات الزمنية للأشعة السينية الصادرة عن أنوية المجرات النشطة تمكننا من معرفة بنية وحجم قرص التراكم حول الثقب الأسود فائق الكتلة .
قمنا بدراسة التغيرات الزمنية للمجرة النشطة NGC 7314 بالاعتماد على بيانات المسبار XMM Newton .
حيث قمنا باستخراج ودراسة منحنيات الضوء وحساب التأخر الزمني بين الإشعاع المباشر والإشعاع المنعكس على قرص التراكم.
كلمات مفتاحية: نوى المجرات النشطة، أشعة سينية، قرص تراكم، ثقب أسود فائق الكتلة، NGC 7314.

Abstract

The timing analysis of X-rays emission from an active galactic nuclei, allow the study of the structure and the size of the accretion disk around supermassive black hole (SMBH).

We studied the time delay of X-rays emission for the active galactic nuclei NGC 7314, using data from the XMM Newton. We extracted and studied the light curves and calculated the time delay between the direct and reflected X-rays emission.

Keywords: Active galactic nuclei, X-rays, Accretion disc, Supermassive black hole, NGC 7314.

Résumé

L'analyse temporelle de l'émission du rayonnement X émis par les noyaux actifs de galaxies permet l'étude de la structure et de la taille du disque d'accrétion autour d'un trou noir supermassif.

Nous avons étudié le retard temporel du rayonnement X pour la galaxie à noyau actif NGC 7314, en utilisant les données du satellite XMM-Newton . Nous avons extrait et étudié les courbes de lumière et calculé le décalage entre l'émission direct des rayons X et l'émission réfléchi.

Mots-clés: Noyau galactique active, Rayon X, Disque d'accrétion, trou noir super massif, NGC 7314.
