

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

ميدان: علوم المادة.  
فرع: الفيزياء.  
تخصص: الفيزياء النظرية



كلية: العلوم.  
قسم: الفيزياء.  
رقم: Ph/TH/12/2021

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي  
إعداد الطالبة: زروقي نجاة

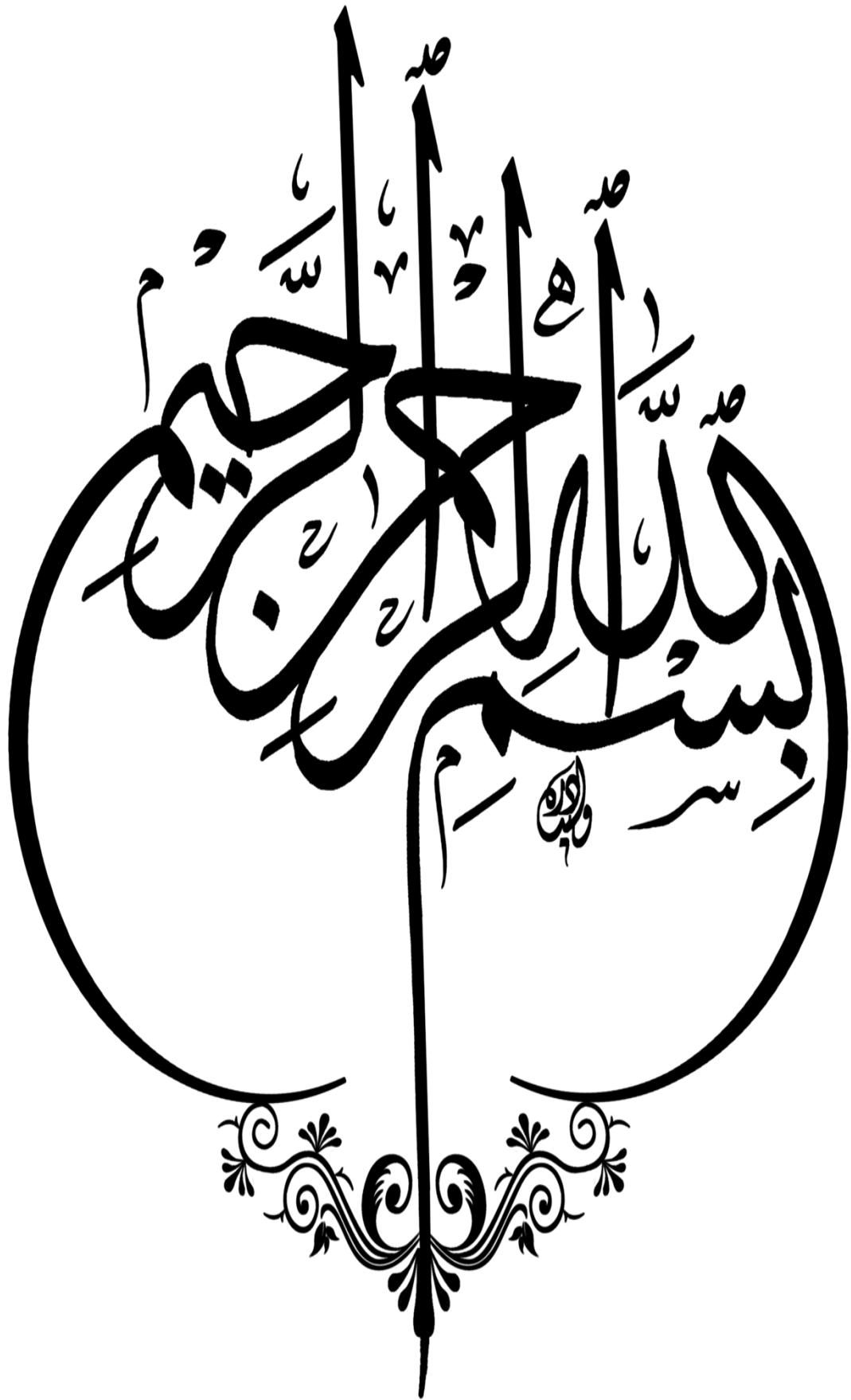
تحت عنوان

دراسة عددية للتغيرات الزمنية للأشعة السينية الصادرة عن  
نواة مجرة نشطة NGC7314

تمت المناقشة يوم / / 2021 أمام اللجنة المكونة من:

جامعة محمد بوضياف المسيلة رئيسا	د. مطاطلة عبود
جامعة محمد بوضياف المسيلة مشرفا و مقررا	د. قالي سهام
جامعة محمد بوضياف المسيلة مناقشا	د. بوشلاغم فوزية

السنة الجامعية: 2021/2020



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# كلمة شكر و تقدير

في البداية ، الشكر و الحمد لله جل في علاه فاليه ينسب الفضل كله في انجاز مذكرتي  
و بعد الحمد لله فاني اتوجه بجزيل الشكر و التحيات للاستاذة اللتي لا يوافي شكرها الكلمات

قالي سهام فلك مني كل الشكر و التحية و المحبة على صبرك معي و توجيهي

لن اوافيك حقك فقد كنت خير دليل لي حفظك الله ورعاك

و اتوجه بجزيل الشكر لكل اساتذة علوم المادة و بالاخص اساتذة قسم الفيزياء النظرية و  
جزيل الشكر للاستاذة المناقشين الدكتور عبود مطاطلة و الدكتورة بوشلاغم فوزية لقبولهم  
مناقشة هذه المذكرة

واتقدم بالشكر من نوع خاص

لوالدايا "العربي" و "نصيرة" لصبرهم معي ومساندتهم لي طيلة دراستي

و الى عمي محفوظ و اخوتي و اخوالي طارق و منصور و ضيف الله لدعمهم لي

وكل عبارات الشكر والتقدير و الامتنان لأعز صديقة و رفيقة دربي خالتي الغالية

و الشكر و التقدير لزوجتي عمي

و اختاي سامية ومنار و صديقتاي اصلاح و اشراق

الشكر ل الدراجي زروخي لمرافقته لي الدائمة

و الى كل من علمني حرفا و كل اساتذتي من الطور الابتدائي الى الجامعي

# اهداء

## بسم الله الرحمن الرحيم

الصلاة على خير الانام الحبيب المصطفى و اما بعد اهدي ثمرة جهدي و عملي المتواضع

الى خير مارزقني الله و من قال فيهما **الرَّحْمَنُ**

**﴿وَقَضَىٰ رَبُّكَ أَلَّا تَعْبُدُوا إِلَّا إِيَّاهُ وَبِالْوَالِدَيْنِ إِحْسَانًا﴾** "الاسراء، الاية 23"

الى تلك من بسمتها غايتي و تحت اقدامها جنتي .....أمي ثم أمي ثم أمي

الى سندي الى من حصد الاشواك من دربي و انار ظلمة الحياة لي بتدرسي.....أبي

الى من بسندهم لي في الحياة لم افشل اخوتي عبد الحميد، صالح، تاج الدين، يوسف، زياد

الى رفيقة دربي و هدية ربي لي اختي سامية متمنية لها النجاح في شهادة البكالوريا

الى اخر العنقود وبسمتي اختي حليلة السعدية"منار" متمنية لها النجاح في شهادة التعليم المتوسط

اهديه الى عمي بلقاسم و محفوظ

الى خالتي وعمتي و زوجة عمي و اولادهم

اهديه الى كل عائلتي

الى غاليتي جدتي فاطنة و كل أخوالي و زوجاتهم

الى كل اصدقائي و كل زملائي في قسم الفيزياء النظرية

الى اصدقاء العمر اصلاح و اشراق زروخي و البرعمة ابنة عمي رفيف

اهديه الى روح جدي و جدتي ، لطالما كان حلمهما الوصول الى اعلى مراتب الدراسة

رحمكما الله برحمته الواسعة و من هنا ستكون انطلاقة تحقيق حلمكما

اهديه الى كل من علمني حرفا، الى كل من كان له الفضل للوصول الى هذا المستوى

## فهرس المحتويات

3	كلمة شكر و تقدير .....
4	اهداء .....
1	المقدمة العامة .....
2	الفصل الاول : الثقوب السوداء .....
3	1.1 من النجوم إلى الثقوب السوداء .....
3	2.1 الثقوب السوداء في النسبية العامة .....
3	1.2.1 معادلة أينشتاين .....
4	2.2.1 معادلة أينشتاين في الفراغ .....
5	3.2.1 نصف قطر شوارزشيلد .....
6	4.2.1 متريّة شوارزشيلد .....
7	3.1 ترموديناميك الثقب الأسود .....
8	4.1 إشعاع هوكينغ .....
8	5.1 الثقوب السوداء في الفيزياء الفلكية .....
9	6.1 طرق الكشف عن الثقوب السوداء .....
10	7.1 رصد الثقوب السوداء من خلال اصدار الاشعة السينية .....
11	8.1 المجرات النشطة .....
12	1.8.1 أنوية المجرات النشطة .....
12	2.8.1 خصائص أنوية المجرات النشطة .....
13	9.1 النموذج الموحد للمجرات النشطة .....
14	10.1 تصنيف المجرات النشطة .....
16	الفصل الثاني : تقنيات الرصد و تحليل البيانات للمجرات .....
17	1.2 مقدمة .....
17	2.2 طرق الرصد .....
18	1.2.2 بعض التلسكوبات المستعملة في الرصد .....
19	2.2.2 المرصد XMM Newton (X-Ray Multi Mirror Newton) .....
22	3.2.2 تحليل البيانات .....
22	3.2 طرق التحليل .....
23	1.3.2 طرق تحليل فوري .....
25	2.3.2 طيف التقاطع و طيف التأخر الزمني .....

26	.....4.2 التماسك و الأخطاء
28	.....الفصل الثالث : الدراسة الزمنية للمجرة النشطة NGC7314
29	.....1.3 مقدمة :
29	.....2.3 المجرة NGC 7314
29	.....3.3 خواص البيانات المختارة للدراسة
32	.....4.3 التأخر الزمني بدلالة التردد
37	.....الخاتمة
38	.....المراجع

مقدمة عامة

## المقدمة العامة

في عام 1915 تنبأ أينشتاين في نظريته النسبية العامة أن شعاع الضوء ينحني باتجاه أي كتلة قريبة،  
فتم طرح سؤال:

"ما الذي يحدث عندما تُصبح كثافة مادّة في منطقة مُعينة عالية جداً، لدرجة أنه لا يمكن للضوء أن يفلت  
منها؟"

الإجابة عن هذا السؤال هي الثقوب السوداء. هذه الاخيرة تشكل احد اهم مواضيع الابحاث في الفيزياء  
الفلكية منذ القرن الماضي و يشهد هذا المجال تطوراً مستمراً نظراً لتوفر وسائل الرصد و تحليل البيانات.  
و من احداث النتائج نذكر الاعلان يوم 10 أبريل 2019 عن أول صورة للثقب الأسود فائق الكتلة الذي  
يوجد في مركز المجرة الراديوية M87 و الذي التقطه التلسكوب الراديوي أفق الحدث EHT  
بالإضافة الى ان جائزة نوبل في الفيزياء للسنة الماضية كانت من نصيب باحثين يعملون على الثقوب  
السوداء فائقة الكتلة.

في هذه المذكرة سنقوم بتحليل زمني لبيانات الاشعة السينية الصادرة عن المجرة النشطة  
NGC7314 و التي يتوسطها ثقب اسود فائق الكتلة.

في الفصل الاول نذكر بمفاهيم عامة حول الثقوب السوداء بشرح دورة حياة النجوم ، و في الفصل  
الثاني نتطرق الى كيفية الحصول على بيانات الاشعة السينية من مرصد XMM-Newton و كذا طرق  
تحليل البيانات باستعمال تحويلات فوري اما في الفصل الثالث فسنقوم بتحليل منحنيات الضوء للمجرة  
النشطة NGC7314 و بحساب التأخر الزمني بين الاشعاع السيني المباشر و الاشعاع السيني المنعكس  
على قرص التراكم حول الثقب الأسود فائق الكتلة.

# الفصل الاول

الثقوب السوداء

## 1.1 من النجوم إلى الثقوب السوداء

تمر النجوم بدورة حياة من بداية تشكلها إلى انهيارها فبعد أن يفقد النجم وقوده يبدأ بالانهيار، و تحدد كتلة النجم المتبقية ما سيؤول إليه الانهيار :

- نجم كتلته اقل من  $1.44M_{\odot}$  (  $M_{\odot}$  تمثل كتلة الشمس) يصبح قزم ابيض إذا كانت كتلته أكبر من حد تشاندراسيكا<sup>1</sup> لا يستطيع النجم أن ينهي حياته كقزم ابيض عند نهاية عمره الحراري النووي [1]

- نجم حجمه أكبر من حجم الشمس و أصغر من  $3M_{\odot}$  تنتهي حياته بانفجار السوبرنوفا<sup>2</sup> و بسبب تقلص المادة و اقتراب الالكترونات من نواته تتولد طاقة عالية تتيح للإلكترونات التفاعل مع البروتونات فلتتحم مع بعضها و ينتج على اثر التلاحم نيوترونات، و هذا التحول يسبب التناقص في التركيب الذري أي تقلص في الحجم الهائل فيصبح نجما ذا كتلة هائلة يبلغ قطره حوالي 10Km فقط و يسمى نجما نيوتروني [2]

- نجم بكتلة أكبر من  $3M_{\odot}$  تنهار مادته و تنكمش و تتراص و يتم ضغط مادته في مساحة صغيرة، اصغر من حجمها الأصلي بملايين المرات أي أن الفراغ يقل و تتجمع المادة مع بعضها فتزداد الجاذبية فيتكون ثقب اسود، إذ تكون جاذبيته قوية جدا، ولا يمكن لأي شيء أن يهرب منه، حتى الضوء لا يفلت منه [1]

## 2.1 الثقوب السوداء في النسبية العامة

يوجد مفهوم الثقب الأسود قبل فترة طويلة من نظرية النسبية العامة، لأنه في سياق جاذبية نيوتن كان هناك بالفعل سؤال حول وجود أجسام ذات كتلة كبيرة و جاذبية قوية جدا بحيث تتساوى سرعة الإفلات منها مع سرعة الضوء [3]

### 1.2.1 معادلة أينشتاين

معادلة أينشتاين تمثل النظرية الهندسية للجاذبية و هي معادلات ذات مشتقات جزئية غير خطية وتحدد مكونات  $g_{\nu\mu}$  للمقياس في نظام إحداثيات معين  $(x_{\mu})$ . و تصف كيف تعدل المادة و الطاقة هندسة الزمكان. ثم يتم تفسير هذا الانحناء للهندسة حول مصدر المادة على أنه مجال الجاذبية لهذا المصدر [3]

<sup>1</sup>حد تشاندراسيكا Chandrasekhar : حد وضعه العالم تشاندراسيكا و هو اقصى كتلة ممكنة لنجم بارد مستقر و اذا زادت عن ذلك فان النجم يجب ان يتقلص الى ثقب اسود [4]

<sup>2</sup>السوبرنوفا هي انفجار نجم ما في الفضاء عند موته او انفجار مفاجئ لنجم لقزم ابيض موجود في نظام نجمي ثنائي [4]

ابسط معادلات أينشتاين في نظام الإحداثيات  $(x_\mu)$  هي :

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = K T_{\mu\nu} \dots \dots \dots (1.1)$$

حيث  $R$  هو الانحناء القياسي ( $R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu} = R^{\nu}_{\nu}$ )

$R^{\lambda}_{\mu\nu}$  يمثل انحناء ريتشي

$g_{\mu\nu}$  موتر المترية

$T_{\mu\nu}$  موتر الاجهاد و الطاقة.

$K$  هو ثابت الجاذبية لأينشتاين ( $K = \frac{8\pi G}{c^4}$ )

قام أينشتاين بتعميم معادلات مجاله عن طريق إضافة مصطلح كوني  $\Lambda g_{\mu\nu}$  على الجانب الأيسر من معادلات الحقل (1.1)

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = K T_{\mu\nu} \dots \dots \dots (2.1)$$

مع  $G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R$  ،  $K$  و  $\Lambda$  ثابتين فيزيائيين

الحد الأيسر من المعادلة يمثل تحذب نسيج الزمكان، و الحد الأيمن يمثل محتوى الطاقة و المادة في نسيج الزمكان

## 2.2.1 معادلة أينشتاين في الفراغ

الحلول المرغوبة للمعادلات هي أساسًا خارج المادة وهذا يعني في المناطق التي يكون فيها  $T_{\mu\nu} = 0$ ، تسمى حلول معادلات مجال الجاذبية حلول الفراغ. نسجل غياب تأثير المادة في نسيج الزمكان، ومن أجل نسيج ذو أبعاد اقل نجد انعدام موتر ريتشي  $R_{\mu\nu}$  في البعد 2 و 3

$$R_{\mu\nu} = 0 \dots \dots \dots (3.1)$$

في هذه الحالة يفرض موتر ريمان  $R^{\lambda}_{\mu\nu\alpha}$  انه لا يوجد مجال جاذبية في الفراغ مما يجعل نسيج الزمكان غير منحنى [2]

### 3.2.1 نصف قطر شوارزشيلد (Schwarzschild Radius)

نصف قطر شوارزشيلد (نسبة إلى العالم كارل شوارزشيلد) يمثل نصف قطر أفق الحدث لثقب أسود. و يمكن تعريفه، في تقريب اولي، على انه نصف قطر كرة تكون المادة فيها ذات كثافة عالية جدا و جاذبية عالية جدا، بحيث لا يمكن حتى للضوء الانفلات منها. و يتعلق نصف قطر شوارزشيلد بكتلة الثقب الأسود.

مثلا لو أخذنا الشمس التي يبلغ نصف قطرها حوالي 700 ألف كيلومتر وقمنا بضغطها دون أن نخفض من كتلتها، فإن أشعتها ستجد صعوبة أكثر في الانطلاق منها، و عندما يتقلص نصف قطر الشمس إلى حد معين فإن الضوء لن ينطلق منها على الإطلاق [2]

يمكننا إيجاد عبارة نصف قطر شوارزشيلد اعتمادا على قوانين نيوتن لوصف حركة جسم مادي [5] :

$$F_{BH} = G \frac{mM}{r_s^2} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$E_{BH} = F_{BH} \cdot r_s = G \frac{mM}{r_s} \dots \dots \dots (5.1)$$

$$E_k = \frac{1}{2} mc^2 \dots \dots \dots (6.1)$$

$$E_{BH} = E_k \Rightarrow G \frac{mM}{r_s} = \frac{1}{2} mc^2 \dots \dots \dots (7.1)$$

$$r = r_s = \frac{2GM}{c^2} \dots \dots \dots (8.1)$$

بحيث:

$r_s$ : نصف قطر شوارزشيلد ( المسافة بين مركز الثقب الأسود و النقطة التي تصبح فيها سرعة الإفلات مساوية لسرعة الضوء تماما )

$G$ : ثابت الجذب العام،  $M$ : كتلة الثقب الأسود،  $m$ : كتلة الفوتون الحركية،  $C$ : سرعة الضوء في الفراغ

$M_{\odot}$ : كتلة الشمس،  $E_{BH}$ : طاقة جذب الفوتون للثقب،  $E_k$ : الطاقة الحركية للفوتون

✓ لو فرضنا نجم كتلته تعادل كتلة الشمس فان نصف قطر شوارزشيلد :

$$r_{sun} = \frac{2GM_{\odot}}{c^2} = \frac{2 \times 6.672 \times 10^{-11} \times 1.98 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2} \approx 3km$$

✓ أما لو فرضنا نجم كتلته تعادل كتلة الأرض فان نصف قطر شوارزشيلد يكون:

$$r_E = \frac{2GM_E}{c^2} = \frac{2 \times 6.672 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{(3 \times 10^8)^2} = 8.8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

### 4.2.1 مترية شوارزشيلد ( Schwarzschild Metric )

تعطى مترية شوارزشيلد في فضاء رباعي الابعاد كمايلي [6]:

$$ds^2 = -g_{tt}c^2 dt^2 + g_{rr}dr^2 + g_{\theta\theta}d\theta^2 + g_{\varphi\varphi}d\varphi^2 \dots \dots \dots (9.1)$$

$$ds^2 = -(1 - \frac{2m}{r})c^2 dt^2 + (1 - \frac{2m}{r})^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 (\sin \theta)^2 d\varphi^2 \dots \dots \dots (10.1)$$

اعتبر بعض الباحثين أن الزمن داخل الثقب الأسود ساكن، واقترح الباحثان ادينغتون و فينكلشتاين تحويلا رياضيا على هذه المترية، لمعرفة هذا التحويل نأخذ بالحسبان الإحداثيات الجيوديسية الصفرية القطرية في

زمكان شوارزشيلد المعطى في العلاقة (10.1) من اجل (  $ds^2=0, \theta, \varphi \rightarrow \text{const}$  )

$$-(1 - \frac{2m}{r})c^2 dt^2 + (1 - \frac{2m}{r})^{-1} dr^2 = 0 \dots \dots \dots (11.1)$$

$$\frac{dr}{dt} = \pm c \frac{r-2m}{r} \dots \dots \dots (12.1)$$

$$\Rightarrow t = \pm (\frac{r}{c} + \frac{2m}{c} \ln|r - 2m|) + \text{const} \dots \dots \dots (13.1)$$

✓ تدل الإشارة (-) على دخول الاشعة الضوئية لافق الحدث

✓ تدل الإشارة (+) على خرج الاشعة الضوئية من افق الحدث

ندخل الان احداثيات جديدة للزمن لحل مسالة زمن شوارزشيلد :

$$\ln \left| \frac{r}{2m} - 1 \right| \pm \frac{2m}{c} = t\dot{} \dots \dots \dots (14.1)$$

$$d\dot{t} = dt \pm \frac{1}{c} \frac{2m}{r-2m} dr \dots \dots \dots (15.1)$$

مترية شوارزشيلد بالنسبة للأشعة الضوئية خارجة من أفق الحدث نأخذ الحل بالإشارة (+):

$$d\dot{t} = dt + \frac{1}{c} \frac{2m}{r-2m} dr \dots \dots \dots (16.1)$$

وبالتالي تصبح مترية شوارزتشيلد (10.1) بالشكل التالي :

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2m}{r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 + \frac{2m}{r}\right) dr^2 + \frac{4m}{r} c dt dr + r^2 d\Omega^2 \dots \dots \dots (17.1)$$

$$d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2 \dots \dots \dots (18.1)$$

قدمت هذه المترية من قبل العالم دافيد هيلبرت (David Hilbert) لكن ذلك الوقت لم يكن السلوك الفيزيائي لأفق الحدث واضح بنفس الوضوح الذي هو عليه اليوم

## 3.1 ترموديناميك الثقب الأسود

فيما يلي نقوم بإعادة التعبير عن خواص الثقوب السوداء بدلالة قوانين الترموديناميك .

• ينص القانون الصفري على أن الثقب الأسود الصغير و غير الدوار يمتلك جاذبية متجانسة عند أفق حدثه و يُشابه الأمر القول بأن الثقب الأسود متوازن حرارياً.

• ينص القانون الأول على أن الطاقة محفوظة، فطالما أن الحرارة شكل من أشكال الطاقة، يعني ذلك أن الجسم الذي يتم تسخينه يحصل على طاقة من مكان ما. و بالمثل إذا ما تم تبريد جسم ما، فإن الطاقة التي يخسرها يجب أن يربحها مكان ما أيضاً.

فيربط القانون الأول كتلة و دوران و شحنة الثقب الأسود مع الانتروبي الخاص به، في حين يرتبط انتروبي الثقب الأسود مع مساحة سطح أفق حدثه. نكتب القانون الأول للديناميك الحرارية للثقب الأسود ب :

$$dE = d(mc^2) = \frac{kc^2}{8\pi} dA + \Omega dJ + \varphi dQ \dots \dots \dots (19.1)$$

حيث :

E هي الطاقة، k جاذبية السطح، A مساحة الأفق،  $\Omega$  سرعة الزاوي، J زخم الزاوي، Q استقرارية الشحنة

الكهربائية، Q كمية الشحنة الكهربائية.

• ينص القانون الثاني على أن انتروبي نظام ثقب أسود ما لا يُمكن أن يتناقص و ينطبق هذا على القانون أنه عندما يقوم ثقبان أسودان بالاندماج يجب أن تكون مساحة سطح أفق الحدث الناتج أكبر من المساحات الخاصة بآفاق حدث الثقبين المندمجين. مما يوحي بوجود صلة بين الإنتروبيا ومساحة أفق الثقب الأسود

• ينص القانون الثالث في الترموديناميك على أن الصفر المطلق لجسم ما هو الحالة المحتملة من أجل أصغر قيمة ممكنة للانتروبي، و ينتج عن هذا القانون أنه ليس بإمكانك تبريد جسم ما إلى درجة حرارة صفر مطلق و هذا ينطبق مع الثقوب السوداء المتطرفة<sup>3</sup> لأنها تملك قيمة أصغر للانتروبي. و لا يمكن لها ان تكون بدرجة الصفر مطلق لان الانتروبي سيضيع و بذلك انتهاك القانون الثاني في الترموديناميك

### 4.1 إشعاع هوكينغ

يفترض الميكانيك الكمومي أنّ الفضاء بأكمله مملوء بأزواج من الجسيمات والجسيمات المضادة كأزواج منفصلة، ثم تتحد هذه الجسيمات ليفني بعضها الآخر، لكن بالقرب من الثقب الأسود و بسبب قوة جاذبيته الهائلة تُفصل هذه الجزيئات عن بعضها، يمتص الثقب الأسود أحدهما. و ينطلق الآخر في الفضاء ويمكن لهذا الأخير أن يسقط داخل الثقب ويمكن له أن يبتعد إلى اللانهاية. حتى تتمكن الجسيمات من الهروب من الثقب الأسود، يجب أن تحدث اهتزازات كمومية بالقرب من حافة الثقب الأسود. وعند حدوث ذلك، تتمكن أحياناً إحدى هذه الجسيمات من النفاذ عبر نفق كمومي، و هكذا يسمح الميكانيك الكمومي بتسرب الجسيمات من الثقب، تُعرف الجسيمات الهاربة باسم إشعاع هوكينغ، هذا الإشعاع باهت جداً لدرجة أننا لا نستطيع رؤيته في الفضاء، لكن الفيزيائيين طوروا طرقاً تمكننا من قياسه في المختبر [7].

### 5.1 الثقوب السوداء في الفيزياء الفلكية

بما أن الثقوب السوداء تبتلع كل ما يقترب منها و حتى الضوء لا يستطيع الإفلات من جاذبيتها، فهذا يجعل الرصد المباشر مستحيلاً. لكن يمكن رصد تأثيرها على الاجرام المحيطة بها و هذا ما مكن الباحثين من رصد الثقوب السوداء النجمية و الثقوب السوداء الفائقة الكتلة.

و قد حدث تطور في أجهزة الرصد وعدد المراصد في العقود الأخيرة من القرن الماضي و أصبح الفلكيون يحصلون من خلال هذه المراصد على بيانات في كل الترددات الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يتضمن الأشعة السينية و فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء و الراديوية. و مع تطور أجهزة الرصد تم مؤخراً التقاط صورة للثقب الأسود و هي أول صورة للثقب الأسود \*M87

<sup>3</sup> الثقوب السوداء المتطرفة هي ثقوب سوداء تتمتع بقيمة عظمى لمعدل الدوران أو الشحنة [7]

نشرها تعاون التلسكوب الراديوي افق الحدث (EHT) (Event Horizon) في 10 أبريل 2019 .  
بحيث تظهر الصورة الثقب الأسود فائق الكتلة في مركز المجرة M87 [8]



الصورة (1.1) : أول صورة لثقب أسود فائق الكتلة \*M87 ، من طرف تلسكوب أفق الحدث Event Horizon Telescope

و هناك العديد من الفرضيات لآليات تشكل الثقوب الفائقة الكتلة، مثل فرضية انهيار نجوم فائقة الكتلة، فرضية انهيار سحب غازية عملاقة و فرضية اندماج مجموعة من الثقوب السوداء.

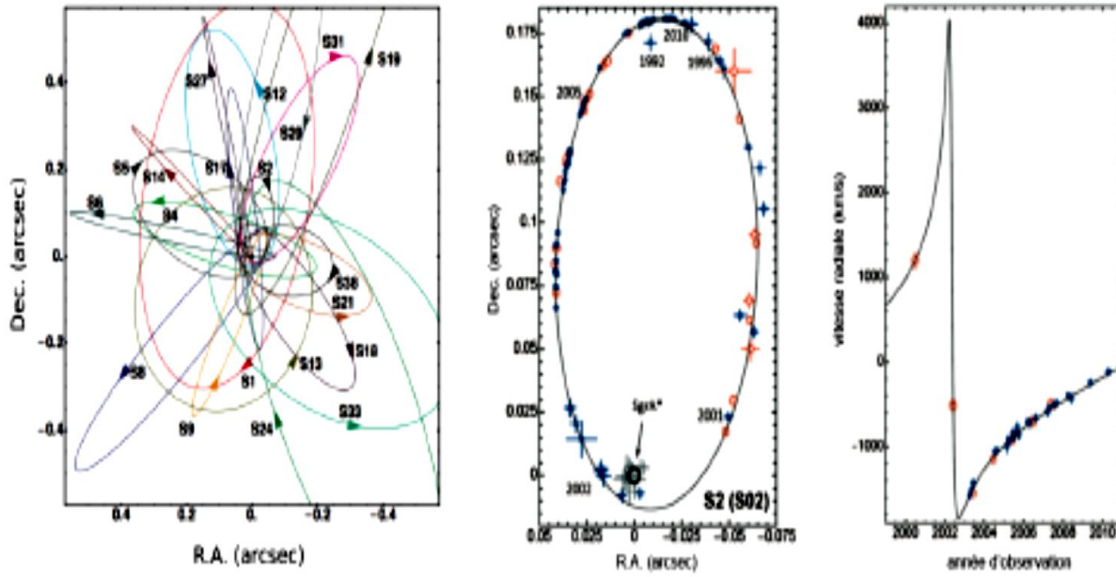
### 6.1 طرق الكشف عن الثقوب السوداء

يتم الكشف عن الثقوب السوداء بطرق غير مباشرة، من خلال دراسة بما يحيط بهم. من بين الطرق الأولى لاكتشاف الثقوب السوداء ومن المتغيرات الأنظمة الثنائية للنجوم، أدت عمليات المراقبة إلى اكتشاف حركة النجوم المدارية حول مركز خفي، والتي يكون رفيقها غير مرئي. يمكن أن يكون هذا الرفيق غير المرئي الضخم نجمًا نيوترونيًا أو ثقبًا أسود لأن مثل هذا النجم الطبيعي الضخم يمكن ملاحظته بسهولة. ثم تتم مقارنة كتلة الرفيق بالكتلة القصوى للنجوم النيوترونية، فإذا تجاوز  $3M_{\odot}$  فإننا نعتبر ذلك الجسم عبارة عن ثقب أسود

### اكتشاف \*Sgr A الثقب الاسود في مركز مجرتنا

\*Sgr A هو ثقب أسود موجود في مركز مجرتنا درب التبانة، تم اكتشافه من خلال دراسة حركة مجموعة نجوم S التي تتحرك بشكل غريب في مكان فارغ، S2 النجم الأقرب له (الشكل 2.1 على اليسار). النجم (S2) يدور في مدار إهليلجي حول الثقب لمدة 15 عام تقريبًا، بسرعات تصل إلى أكثر من  $5000\text{km.s}^{-1}$  ، ادت القياسات المكافئة التي أجريت على النجوم الأخرى في تحديد كتلة الثقب و

وجدت كتلة \*Sgr A ، و هي  $M_{A*} = 4.3 \pm 0.4 \times 10^6 M_{\odot}$  [9]



الشكل (2.1): الشكل من اليسار مدارات مستخلصة من حركات حوالي ثلاثين نجماً من المجموعة S تدور حول

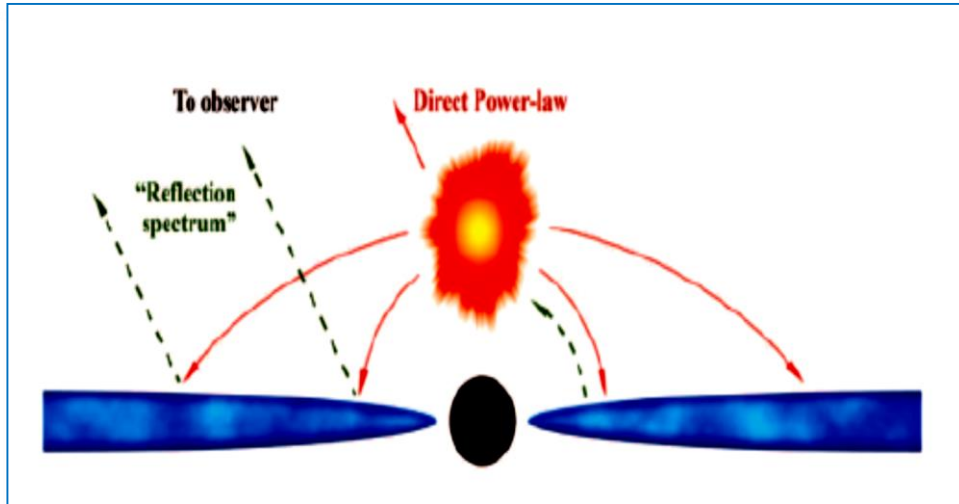
Sgr A\*، الشكل الوسط واليمين يتم عرض القيود الدقيقة التي تم الحصول عليها لهذا النجم [9]

و هناك طريقة أخرى لاكتشاف الثقوب السوداء و هي اكتشاف موجات الجاذبية وكان أول اكتشاف باستخدام هذه التقنية في 14 سبتمبر 2015 من خلال تعاون LIGO-VIRGO الذي اكتشف مباشرة على الأرض مرور موجات الجاذبية المنبعثة أثناء تصادم واندماج ثقبين أسودين ضخمين [10]

## 7.1 رصد الثقوب السوداء من خلال اصدار الاشعة السينية

يمكن رصد اشعة سينية صادرة عن المجرات النشطة التي تتوسطها ثقوب سوداء فائقة الكتلة . و يعتقد الباحثون ان مصدر هذه الاشعة السينية هو هالة ساخنة موجودة في محيط الثقب الاسود ، بفعل تشتت كومبتون العكسي للفوتونات ( inverse Compton scattering ) ، حيث تشتت الفوتونات الاقل طاقة المنتجة من البلازما الساخنة الى طاقات اعلى بواسطة الكتلونات نسبية في البلازما المحيطة بقرص التراكم حول الثقب الاسود فائق الكتلة.

و تنتشر هذه الاشعة السينية في كل الاتجاهات، ما يتم رصده مباشرة يسمى الاشعاع المباشر. و يمكن لجزء من هذه الاشعة ان تنعكس على قرص التراكم حول الثقب الاسود فائق الكتلة ثم تصل الى الراصد، و يسمى هذا الجزء المنعكس بالاشعاع المنعكس [11]

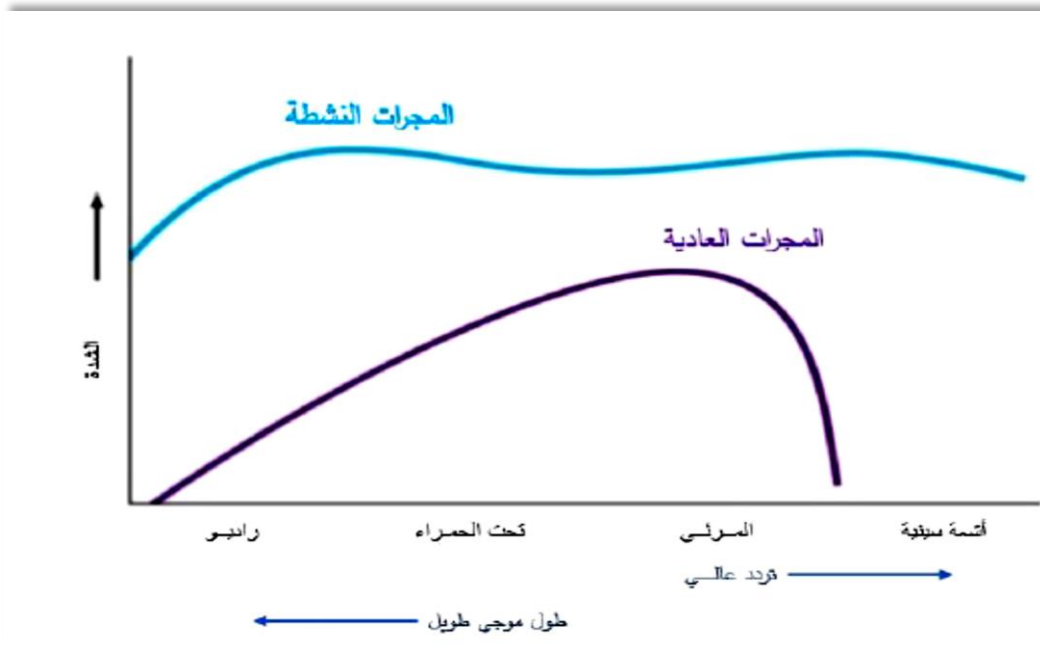


الشكل (3.1): رسم تخطيطي يوضح الاشعاع المباشر و الاشعاع المنعكس. [11]  
يوضح الشكل (3.1) قرص التراكم (باللون الأزرق)، الذي يدور حول ثقب أسود مركزي أسفل الهالة التي ينبعث منها الاشعاع (باللون البرتقالي)

### 8.1 المجرات النشطة (Active galaxies)

المجرات النشطة هي تسمية مختصرة للمجرات ذات الأنوية النشطة و هي أكثر إشراقا من المجرات العادية، لأنها تبعث قدرًا كبيرًا من الطاقة، خاصة في الجزء غير المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، في السنوات الأخيرة تم اكتشاف أن معظم، و إن لم يكن كل المجرات تحتوي في نواتها على ثقب أسود فائق الكتلة super massive black hole.

إذا كان مصدر إشعاع المجرات العادية من النجوم، فإن المجرات النشطة مصدر إشعاعها يكون من نواتها، فمن الدراسات النظرية والأرصاد الفلكية اتضح أن مصدر النشاط ينبع من النواة و من ثم سميت هذه المجرات بالمجرات ذات الأنوية النشطة [12]



الشكل (4.1): المنحنى يبين الفرق بين المجرات العادية و المجرات النشطة حيث يكون ضوء المجرة العادية أضعف في المجال الضوئي و خافت في الأطوال الموجية الطويلة والقصيرة على عكس المجرة النشطة فهي تشع انبعاثات في الأطوال الموجية القصيرة و الطويلة

### 1.8.1 أنوية المجرات النشطة

يلاحظ أن النوى المجرية النشطة هي بواعث للأشعة السينية، و تنشأ هذه الأشعة السينية من المناطق الأعمق لقرص التراكم حول الثقب الأسود المركزي فائق الكتلة [13].

تنقسم النوى المجرية النشطة الآن إلى فئتين رئيسيتين الراديو الهادئ (radio quiet) و الراديو مرتفع (radio loud) [14]

تم تفسير ما يجري في قلب نوى المجرات النشطة من خلال النموذج الموحد.

### 2.8.1 خصائص أنوية المجرات النشطة AGN Active Galactic Nuclei

تقدم بعض النوى المجرية النشطة نفاثات قوية، متماثلة في مخروط ضيق للغاية وتتحرك بسرعات نسبية شديدة تصل إلى الفضاء بين المجرات. يصدر عن معظم هذه النوى إشارات تنتج عن انبعاث في الأشعة السينية بحيث تتجاوز بكثير السطوع النموذجي للأشعة السينية للمجرات العادية غير النشطة. تم رصد النشاط النووي

في مصادر مختلفة مما يؤدي إلى تصنيف عدة أنواع من النوى المجرية النشطة. تعتمد هذه المظاهر المختلفة بشدة على اتجاه النوى المجرية النشطة فيما يتعلق بالمراقب.

المجرات الراديوية و الكوازارات، البلازارات كلها عبارة عن نوى مجرية نشطة تمتلك تدفقات قوية جداً و يمكنها التحرك نحو الخارج وعلى امتداد مناطق كبيرة من الوسط بين-المجري حيث تتميز هذه المجرات بعدة خصائص منها:

• **اللمعان (High Luminosity):** تتمتع بإضاءة عالية جداً من أصل غير نجمي فالنوى النشطة هي وراء اللمعان الهائل لهذه المجرات، بحيث يتراوح لمعانها في المجال  $[10^{42} - 10^{48}] \text{erg/s}^4$

• **قرص التراكم (Accretion disc):** قرص مسطح نسبياً يحيط بالثقوب السوداء الفائقة الكتلة، يتكون من الغاز والغبار الموجود في مراكز المجرات النشطة، تزيد كتلته و حجمه من خلال جذب المواد المحاطة حوله

• **النفثات (jets):** تنبعث تدفقات من المادة المتأينة من مراكز بعض المجرات النشطة والمجرات الراديوية كشعاع ممتد على طول محور الدوران تمتد هذه التدفقات إلى عدة آلاف أو حتى مئات الآلاف من السنوات الضوئية و عند تسارع هذه المادة بشكل كبير في الشعاع تقترب من سرعة الضوء.

• **هالة الثقب الأسود (Corona of black hole):** عبارة عن سحابة من بلازما ساخنة بالقرب من قرص التراكم تمت تسميتها على اسم هالة الشمس تم ملاحظتها بشكل شائع في نوى المجرات النشطة. تعتبر مكون رئيسي في لمعان تراكم الثقب الأسود حيث تحمل % (5-30) من الطاقة فيعتبر لمعانها أكبر ب  $10^{15}$  مرة، تؤدي إلى انبعاث كلي للأشعة السينية. تستخدم هذه الأشعة لتحديد تدفق التراكم و قياس دوران الثقب الأسود [15]

### 9.1 النموذج الموحد للمجرات النشطة

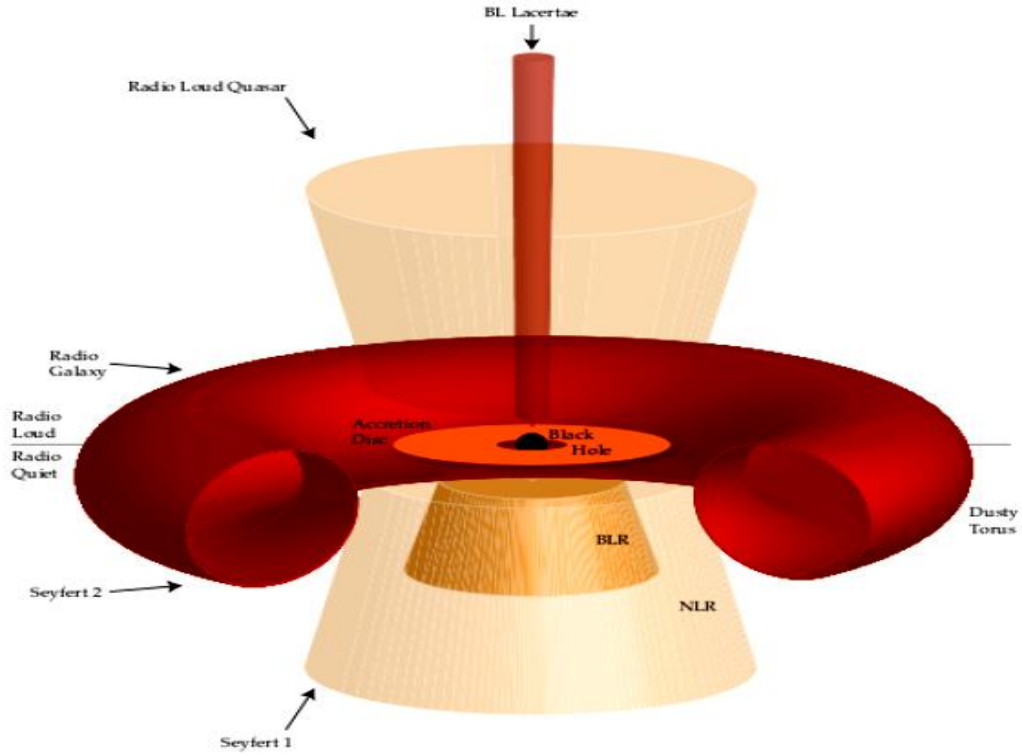
تملك المجرات النشطة نموذج موحد و لها عدة أصناف

---

$$1 \text{joule} = 10^7 \text{erg}$$

هي وحدة من وحدات الطاقة حيث

وفقا للنموذج الموحد، تحتوي النوى المجرية النشطة على ثقب أسود فائق الكتلة محاط بقرص تراكم غازي داخل بنية هندسية كثيفة و سميكة بصريا تسمى Torus، و هي عبارة عن هالة مكونة من غبار كثيف يوجد أعلى وأسفل قرص التراكم الهالة الساخنة.



الشكل (5.1): يوضح مخطط المجرات النشطة كيف تتناسب فئات المصادر المختلفة التي تمت ملاحظتها مع نموذج AGN الموحد كدالة لميل خط البصر [16]

### 10.1 تصنيف المجرات النشطة

• **مجرات زايفرت (Seyfert galaxy):** هي مجرات حلزونية تصدر إشعاعا ناتجا عن غاز شديد التأين، تحتوي على ثقب أسود فائق الضخامة في مركزها. تتميز هذه المجرات بنواة لامعة و هي مصدر الإشعاعات الكهرومغناطيسية الصادرة عن ذرات الهليوم والهيدروجين وذرات الحديد [17]

• **كوازارات (Quasar):** أجرام سماوية بعيدة جدا وفي حدود الكون المرئي اكتشفت عام 1963 و تعني أشباه النجوم (Quasi-Stellar Objects)، تتميز هذه المجرات بلمعانها العالي، و تطلق كمية كبيرة من

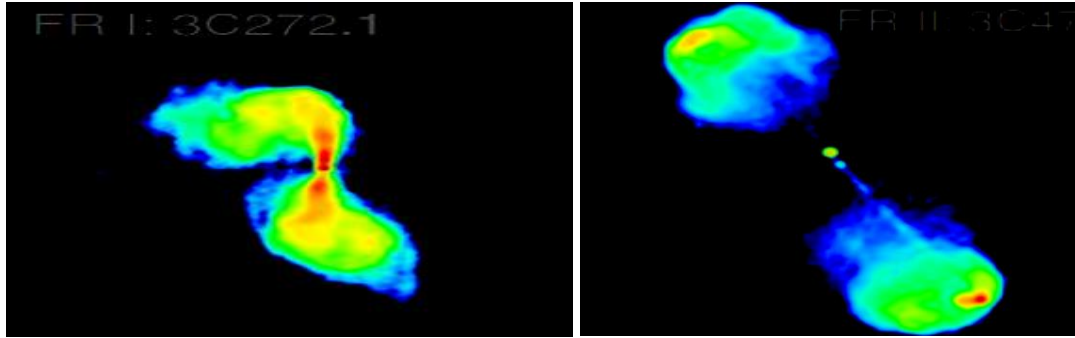
## الفصل الاول

الطاقة و الأشعة الراديوية. ينحرف طيف هذه المجرات نحو الأحمر ما يدل على أنها تبتعد بسرعة عالية

جدا [2] [12]

• **البلازارات (Blazars):** مجرات ذات أنوية نشطة تتجه نفاثاتها باتجاه كوكب الأرض، تتميز البلازارات ببريقها العالي وانبعث إشعاعات متغيرة المجال، حيث تتغير بين مجال الأشعة الراديوية وصولاً إلى مجال أشعة غاما

• **مجرات راديوية ( Radio Galaxies ) :** تتميز بأنها تشع كميات هائلة من الأشعة الراديوية، وهي غالباً ما تكون عملاقة بيضاوية، ويلاحظ أن الأشعة تنبعث في مسارين مستديرين على جانبي المجرة و هي مقذوفات تُرج من النواة وتنتهي بقوس [12]



الشكل (6.1) : من اليمين المصدر FR II من اليسار المصدر FR I [18]

## الفصل الثاني

تقنيات الرصد و تحليل البيانات

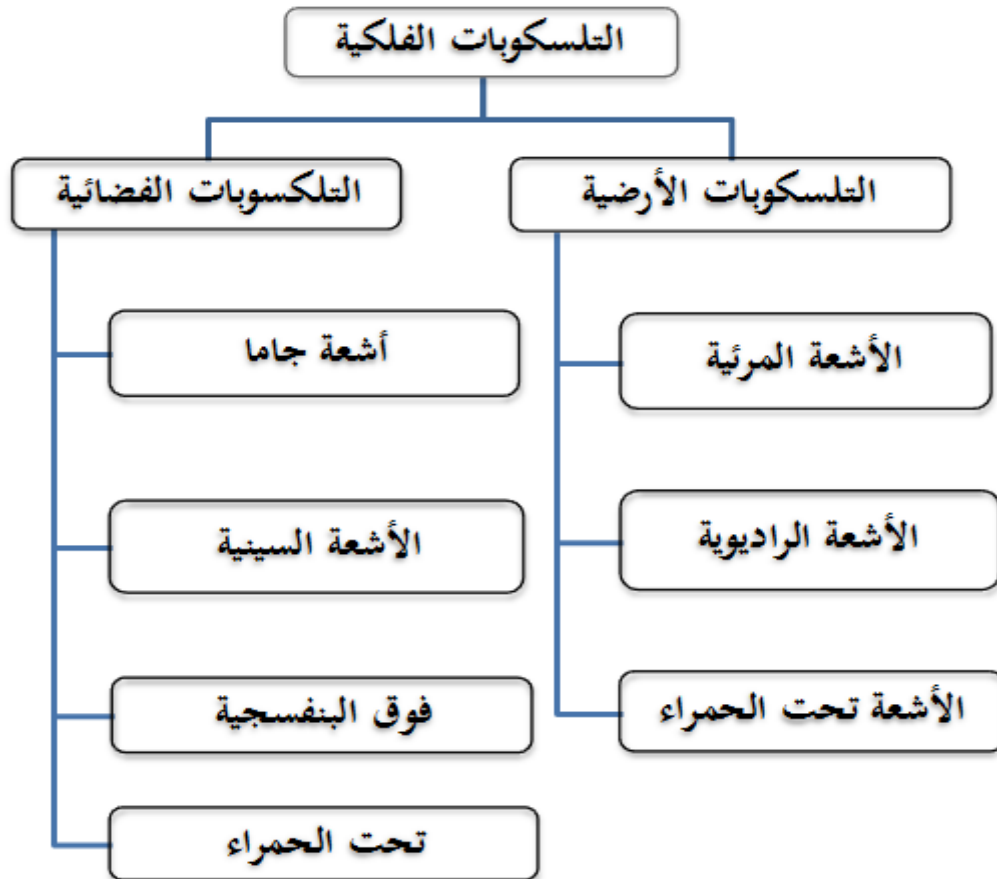
للمجرات

### 1.2 مقدمة

في هذا الفصل سنتعرف على مختلف المراصد الفلكية و نركز الاهتمام على مراصد الأشعة السينية أهمها مرصد XMM-Newton و كيفية تحميل البيانات منه. ثم نتطرق إلى طرق التحليل الزمني للبيانات و التي تعتمد على تحويلات فوري

### 2.2 طرق الرصد

تتم دراسة الأجرام السماوية من خلال رصد ما تصدره من إشعاعات كهرومغناطيسية في مختلف المجالات و بطرق مختلفة.



مخطط (1.2): التلسكوبات الفلكية

### 1.2.2 بعض التلسكوبات المستعملة في الرصد

التلسكوب	التعريف	من اكتشافاته
تلسكوب هابل (HST)	أطلق في 24 أبريل 1990 من مكوك الفضاء "ديسكفري". و ينقل نحو 120 Gigabyte من البيانات العلمية كل أسبوع، يتم تخزين هذه البيانات على أقراص ضوئية ممغنطة. صُمم للرصد في المجال المرئي وفي مجال الأشعة فوق البنفسجية	ساعد في تحديد عمر اكتشاف أن كل مجرة كبيرة تقريبا بها ثقب أسود
تلسكوب أفق الحدث	مجموعة من التلسكوبات موزعة على القارات، ذات أطوال موجية مليمترية وما دون المليمتر، استعمل لرصد الثقوب السوداء فائقة الكتلة	التقاط أول صورة للثقب الأسود
تلسكوب أشعة غاما	يتيح قياس أشعة غاما <sup>5</sup> معرفة انفجارات تحدث في الكون، وقياس عمليات فيزيائية تحدث في بعض النجوم والمجرات شديدة الطاقة	اكتشاف انفجارات أشعة جاما
تلسكوب راديوي	تعمل هذه التلسكوبات على رصد الأمواج الراديوية <sup>6</sup> الصادرة عن الأجرام و يمكنه فحص مسافات تصل إلى 16 مليار سنة ضوئية	رؤية النجوم النابضة
تلسكوب الأشعة تحت الحمراء	يستخدم الأشعة تحت الحمراء <sup>7</sup> للكشف عن الاجرام الفلكية	اكتشاف حلقة هائلة حول كوكب زحل
تلسكوب الأشعة فوق البنفسجية	تمكن من دراسة الأجسام الحارة جدا في الفضاء. وتستعمل لدراسة كيفية تكون النجوم	رصد اشعة فوق البنفسجية القادمة من السماء
تلسكوبات الأشعة السينية	تستخدم لرصد مناطق من الأطوال الموجية لا يمكن أن ترصد من الأرض، مثل جزء الطيف الكهرومغناطيسي الواقع في منطقة الأشعة السينية.	التقاط لأول مرة أشعة سينية قادمة من كوكب أورانوس

جدول(1.2): بعض التلسكوبات المستعملة في الرصد [19]

<sup>5</sup> أشعة غاما: تنشأ عن أحداث فلكية مثل انفجارات المستعرات العظمى وتدمر الذرات والثقوب السوداء والتحلل الإشعاعي للمادة في

الفضاء [3]

<sup>6</sup> الأمواج الراديوية هي عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية غير مرئية طولها النموذجي أكبر بكثير من طول موجة الضوء المرئي [4]

<sup>7</sup> تم اكتشاف الأشعة تحت الحمراء في عام 1800 بواسطة ويليام هيرشل ، خلال تحقيقاته في مجال الضوء المرئي ، عندما وضع مقياس حرارة خارج نهاية حمراء من طيف قوس قزح ، وجد بانها تسبب مصدر غير مرئي للإشعاع في جعل الجهاز يسجل ارتفاعاً في

درجة الحرارة. [4]

ومن بين مرصد الأشعة السينية نذكر مايلي :

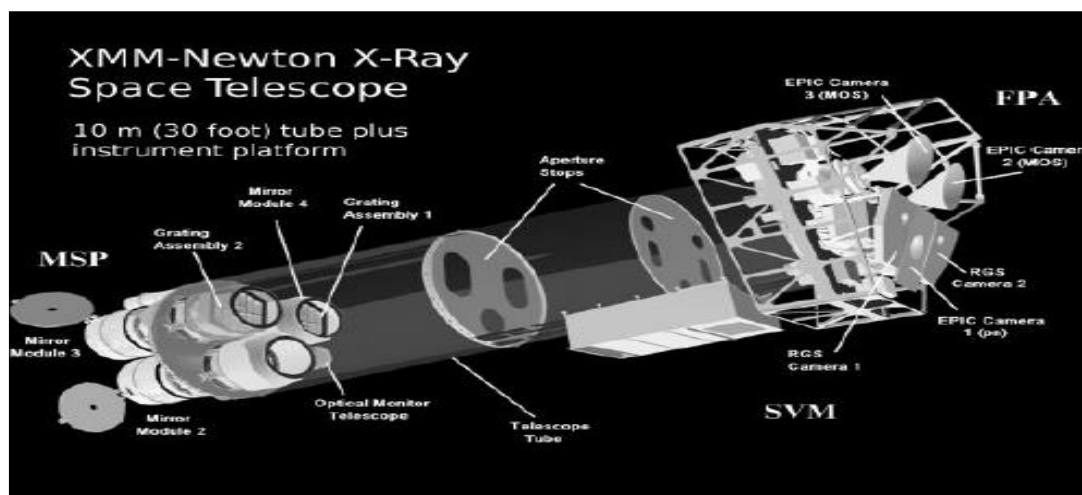
المرصد	تاريخ التفعيل	من اعمال المرصد
Explorer(RXTE ) Rossi X-ray Timing	30 ديسمبر 1995	رصد تغيرات الزمن لمصادر الأشعة السينية
XMM Newton (X-Ray Multi-Mirror Newton)	10 ديسمبر 1999	رصد الكون في نطاق الأشعة السينية
Chandra X-ray Observatory	23 ديسمبر 1999	قياس الأشعة السينية الصادرة من الأجرام
NuStar Telescope	13 جوان 2012	• فحص نشاط AGN • قياس تركيز الأشعة السينية

جدول(2.2): بعض المراصد المستعملة لرصد الأشعة السينية [21] [20]

### 2.2.2 المرصد XMM Newton (X-Ray Multi Mirror Newton)

أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية إيسا (ESA)، بصاروخ آريان 5 من قاعدة كورو. مداره فريد من نوعه مع ذروة  $10^5$  km ( $5 \sim \frac{1}{3}$ ) من مسافة الأرض والقمر. يتكون من ثلاثة تلسكوبات متوازية فتقوم بقياس نفس المكان. يتكون كل مقراب من 58 مرآة معدنية متداخلة في بعضها البعض عالية

الدقة [22]



الشكل (1.2): رسم بياني XMM-Newton يظهر الصور التلسكوبات الثلاثة. يحتوي اثنان من التلسكوبات على كاميرا MOS في التركيز الأساسي وكاميرا RGS البؤرية في المرحلة الثانوية. 40٪ من الضوء عن طريق المشابك على الكاميرا البؤرية RGS. التلسكوب الثالث لديه شعاع بدون عائق مع كاميرا PN على المستوى البؤري.

## الفصل الثاني

في موقع أرشيف XMM-Newton يمكننا إيجاد و تنزيل بيانات الأجرام المرصودة :

- الاطياف (Spectra) و تظهر التدفق كدالة للطاقة
  - منحنيات الضوء (Light Curve) التي تظهر تباين تدفق الفوتونات كدالة للوقت
  - قائمة استخراج الحدث (Event list extraction) و ذلك من خلال نظام تحليل العلوم
- (Science Analysis System) [SSA](#) دون الحاجة إلى تنزيل البيانات أو البرامج. يتم ذلك في موقع المرصد عبر واجهة التحكم عن بعد للتحليل العلمي Remote Interface for Science Analysis (RISA)
- للأهداف التي لاحظها مرصد XMM-Newton.
- لاستخراج المعلومات المشفرة من موقع XMM-Newton ، نذهب إلى الرابط [XMM-Newton Science Archive Search](#) و نتبع هذه الخطوات التالية :

يجب أولاً تسجيل الدخول باستخدام اسم المستخدم و كلمة السر، إذا لم يكن لدى المستخدم حساب

على الموقع، فعليه إنشاء

حساب باتباع الخطوات الموجودة على الموقع تظهر هذه النافذة

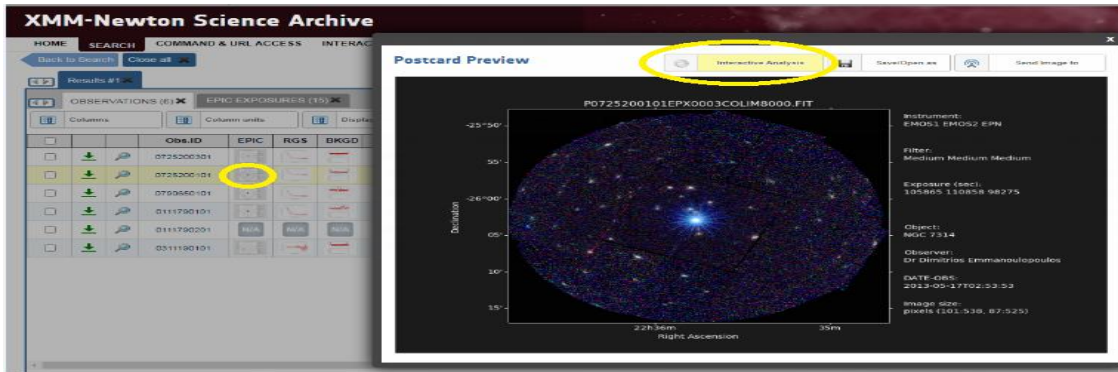


ينقر فوق لتعليمة Search فيظهر الشكل

الشكل (2.2): واجهة البحث تعرض مكان ادخال اسم المجرة المراد دراستها و الملاحظات (EPIC) و مصادر PPS

يكتب اسم أو إحداثيات المجرة التي نريد دراستها و يتم اختيار  
 Name   
 NGC7314 resolved by Sesame

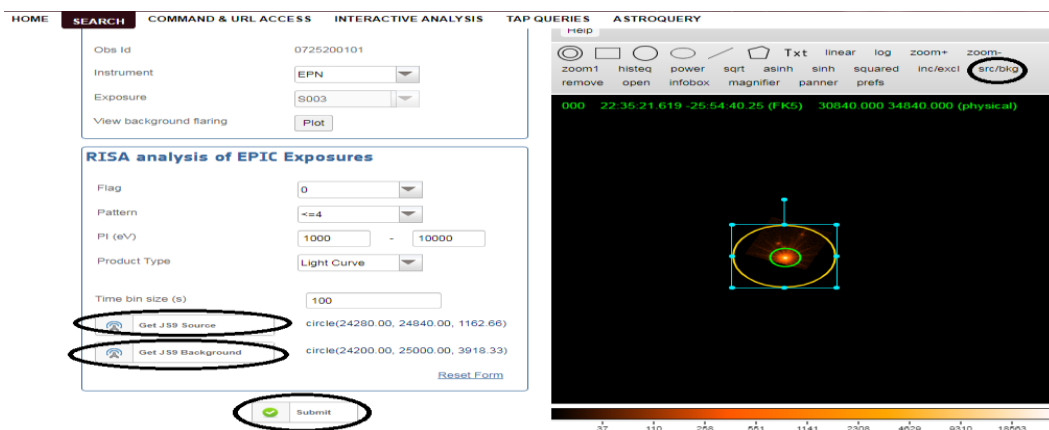
الملاحظات EPIC و مصادر PPS (EPIC PPS Sources) المناسبة ثم الضغط على زر بحث فيتحصل على قائمة الملاحظات المختلفة التي تم إجراؤها ومعلوماتها (تاريخ ، مدة Obs ...)



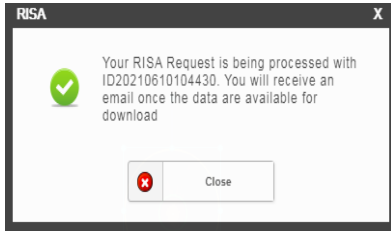
الشكل (3.2) : قائمة الملاحظات

بعد ذلك يختار البيانات المراد دراستها مثلا بيانات "072500101" لسنة 2013 و ذلك بالضغط على الصورة الموجودة في التعليمات على EPIC المقابلة لنفس السنة ثم اختيار "Interactive Analysis" فيتم فتح علامة تبويب "تحليل البيانات" مما يسمح بعمل تحليلات البيانات وذلك من خلال:

- اختيار الأداة (instrument) و تعيين المعلومات (الفاصل الزمني الطاقة و وقت التعرض ..)
- وضع دائرة حول منطقة مصدر في JS9 و النقر على "Get JS9 Source"
- تحديد خلفية السماء بدائرة أخرى والضغط على "src / bkg" ثم على "Get JS9 Background".



الشكل (4.2) : علامة تبويب تحليل البيانات يتم فيها تحديد وسائط SAS المناسبة واختيار نوع تحليل البيانات



• ثم النقر على "Submit"، تظهر رسالة ، يضغط على close

• أخيراً سوف يتلقى بريد إلكتروني يحتوي على رابط لتنزيل البيانات

### 3.2.2 تحليل البيانات

تم تحميل بيانات المجرة NGC7314 و معالجتها من اجل الحصول على منحنيات الضوء التي ستستعمل في دراستنا

### 3.2 طرق التحليل

سنراجع طرق لتحليل النتائج و معرفة مختلف الخصائص من الإشارات المرصودة، ومن بين أهم الطرق المستخدمة في التحليل هي التحليل في المجال الزمني و التحليل في المجال الترددي [22]

#### التحليل في المجال الزمني

هو تحليل يستخدم لدراسة الإشارات ذات أشكال هندسية معروفة، و تتميز هذه الدوال بقابلية التغير في المجال الزمني

#### التحليل في المجال الترددي

يستخدم لدراسة الإشارات ذات الدوال والأشكال الهندسية الغير مألوفة، وغالبا ما يتم تحويلها الدوال الجيبية لتسهيل الدراسة و يتم اللجوء إلى هذا التحليل لأننا غالبا ما نتعامل مع إشارات غير معروفة الشكل الهندسي و الرياضي و أيضا التردد ما هو إلا مقلوب للزمن، كما كلا التحويلين في المجال الزمني والتردد هما من بين الطرق الرياضية التي تساعد على تحليل الإشارات الخاصة بمنحنيات الضوء و يمكن الانتقال من الزمن إلى التردد أو العكس و هذا من خلال تحويلات فوري .

### 1.3.2 طرق تحليل فوري

من بين الطرق الرياضية المستخدمة لدراسة التغيرات و البحث عن التأخر الزمني في منحنيات ضوء الأشعة السينية وهي تقنيات تسهل تفسير البيانات المعقدة عن طريق تحليل البيانات وفقاً للاختلافات على نطاقات زمنية مختلفة. [11]

#### • تحويل فوري المتقطع و الكثافة الطيفية للطاقة

عملية تحويل للإشارات المتقطعة في فضاء الزمن إلى إشارات في فضاء الترددات، لأنه في عمليات الرصد الفلكية نتعامل مع الإشارات التي يتم أخذ عينات منها بشكل متقطع، عادةً على فترات زمنية ثابتة أو دورية حيث يعطى تحويل فوري المتقطع لمنحنى ضوء الذي يتكون من تدفقات مقاسة في أزمنة متتالية بفارق  $(\Delta t)$  بواسطة العلاقة [22] :

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k \exp (2\pi i n k / N) \dots \dots \dots (1.2)$$

حيث  $x_k$  تمثل قيمة منحنى الضوء و  $X_n$  يمثل تحويل فوري المتقطع عند كل تردد فوري  $f_n$

$N$  التدفقات المقاسة في فترات زمنية متجاورة من العرض  $t$

$$f_n = n / (N \Delta t) \text{ حيث } (n=1,2, 3 \dots \dots N/ 2)$$

وبالتالي، فإن الحد الأدنى للتردد هو مقلوب مدة الملاحظة،  $T_{\text{obs}} = N \Delta t$  و الحد الأقصى هو التردد الأقرب

$$f_n = 1 / 2 \Delta t$$

يتم إعطاء عبارة منحنى الضوء من خلال:

$$|X_n|^2 = X_n^* X_n \dots \dots \dots (2.2)$$

حيث  $X_n^*$  هو المرافق المركب ل  $X_n$ .

من اجل الحصول على نفس الوحدات لعبارة كثافة طيف القدرة PSD يتم تقنين بيانات الرسم البياني للفترة الزمنية، و هذا باستخدام العلاقة:

$$P_n = \frac{2\Delta t}{(x)^2 N} |X_n|^2 \dots \dots \dots (3.2)$$

حيث تكون القيمة  $\langle x \rangle$  هي متوسط التدفق لمنحنى الضوء .

عبارة PSD في نطاق التردد  $v_j$  متوسط عبر مقاطع  $M$  و ترددات  $K$  لكل مقطع هي :

$$\bar{P}(v_j) = \frac{1}{KM} \sum_{n=i, i+K-1} \sum_{m=1, M} P_{n,m} \dots \dots \dots (4.2)$$

حيث  $\bar{P}(v_j)$  هو تقدير PSD الذي تم الحصول عليه من متوسط الرسم البياني للدورة في النطاق  $v_j$  و  $P_{n,m}$  هي قيمة عينة واحدة من مخطط الدورة الزمنية المقاسة من نفس المقطع بتردد  $f_n$  الموجود في نطاق التردد  $v_j$  الذي يحتوي على ترددات في النطاق  $f_i$  إلى  $f_{i+K-1}$ .

### • تحويل فوري السريع The fast Fourier transform

تحويل فوري السريع (FFT) هو خوارزمية رقمية لحساب تحويلات فوري المتقطعة (DFT) و المبدأ في هذه الخوارزمية هو تقسيم التحويل المتقطع إلى تحويلات صغيرة جدا و متتالية لان تقنيات فوري تصلح بشكل جيد لتحليل منحنيات الضوء الكبيرة جدًا و ذات الدقة الزمنية العالية المستخدمة لدراسة تقلب سريع للغاية في ثنائيات الأشعة السينية [22].

و باستعمال خواص الدالة الأسية من الدورية و التماثل و بجعل العدد  $N$  مساوي لأس العدد 2 أي  $N = 2^r$  في هذه الحالة العدد هو عدد زوجي تماما. و عليه هنا يمكننا تقسيم تحويل فوري إلى جزئين متساويين "جزء فردي" و "جزء زوجي" كل جزء به  $\frac{N}{2}$

$$(k) = \sum (n) W_N^{Kn} \sum (n) W_N^{Kn} \dots \dots \dots (5.2)$$

يمكننا أن نضع تحويلات بسيطة للقيم الزوجية وللقيم الفردية :

$$W_N^{Kn} = \exp\left(\frac{2\pi ink}{N}\right) \text{ و } (n = 2r) \text{ و } (n = 2r+1) \text{ للقيم الفردية}$$

ومنه علاقة تحويل فوري السريعة تصبح كالآتي:

$$(k) = \sum (2r) W_{\frac{N}{2}}^{Kr} \sum (2r+1) W_{\frac{N}{2}}^{Kr} \dots \dots \dots (6.2)$$

### 2.3.2 طيف التقاطع و طيف التأخر الزمني The cross spectrum and lags

يتم تعريف طيف التقاطع لمنحني ضوء  $x(t)$  و باقي منحنيات الضوء  $y(t)$  في نفس المجال الزمني باستعمال تحويل فوري المتقطع  $x(t)$  (discrete fourier transform) و  $Y_n$  ، بالعلاقة التالية :

$$C_{XY,n} = X_n^* Y_n \dots \dots \dots (7.2)$$

يمكننا أن نرى كيف يتم استخدام طيف التقاطع لاستخلاص التأخر الزمني الذي يعتمد على التردد بالعلاقة:

$$X_n = A_{X,n} \exp(i\Psi_n) \dots \dots \dots (8.2)$$

حيث  $A_{X,n}$  تمثل السعة المطلقة لتحويل فوري ( magnitude of the fourier transform ) و  $\Psi_n$  تمثل زاوية الطور (بوحدرة الراديان ) التي تتوزع عشوائيا في المجال  $[-\pi, \pi]$  عند التردد  $f_n$  نعرف دور السلسلة بالمدة اللازمة لكي تتم البيانات الجيبية دورة كاملة واحدة إلى مع ظهور طور إضافي نتيجة  $x(t)$  مرتبط خطيا مع منحنى الضوء  $y(t)$  منحنى الضوء مع ملاحظة اختفاء الطور

$$Y_n = A_{X,n} \exp(i(\Psi_n + \varphi_n)) \dots \dots \dots (9.2)$$

نتيجة الترابط بين المنحنيين، وعليه فان منحنى الضوء  $y(t)$  يرتبط خطياً مع منحنى الضوء  $x(t)$  مع ظهور طور إضافي نتيجة الترابط بين المنحنيين :

$$Y_n = A_{X,n} \exp[i(\Psi_n + \varphi_n)] \dots \dots \dots (10.2)$$

يتم ضرب مرافق  $X_n$  مع  $Y_n$ ، حيث نحصل في الأخير على عبارة طيف التقاطع التالية :

$$C_{X,n} = A_{XY,n} A_{Y,n} \exp(i\varphi_n) \dots \dots \dots (11.2)$$

في حالة وجود أي إشارة غير مرتبطة بين منحنيات الضوء، على سبيل المثال تشويش بواسون، إشارة غير متماسكة ولكن قد تكون هناك أيضاً إشارة غير متسقة بطبيعتها، وقد يكون السبب في ذلك هو وجود عنصر إضافي يختلف بشكل مستقل في نطاق طاقة واحد يختلف بشكل مستقل في نطاق طاقة واحد و

لكن ليس في نطاق طاقة آخر، ينبغي حساب متوسط الطيف المتقاطع لعدة ترددات معينة  $v_j$  بدلالة ترددات فوري لعدة منحنيات ضوء، من اجل الحد من آثار الإشارات غير المترابطة يحقق العلاقة التالية:

$$\bar{C}_{XY}(v_j) = \frac{1}{KM} \sum_{n=i, i+k-1} \sum_{m=1, M} C_{XY, n, m} \dots \dots \dots (12.2)$$

و بالتالي التأخر الزمني الذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$\tau(v_j) = \frac{\varphi(v_j)}{2\pi v_j} \dots \dots \dots (13.2)$$

غالبًا ما يتم تحويل المراحل إلى فترات تأخير لتسهيل تفسير حالة البيانات، ولكن نظرًا لأن المرحلة محدودة في الفترة الفاصلة الزمنية بين  $-\pi$  و  $\pi$  ، فيجب توخي الحذر عند تفسير أي فترات زمنية تتطابق مع الفواصل الزمنية القريبة من هذه الحدود. ليس من السهل دائمًا تحديد القيمة التي يجب استخدامها لتردد المجال  $v_j$  للحصول على تأخر زمني، فينبغي استخدام مركز المجال الترددي يتم التعبير عن تأخر المرحلة من حيث جدول زمني مفيد. لان تحويل فترات التأخير إلى الفترات الزمنية [11]

#### 4.2 التماسك و الأخطاء The coherence and errors

يتم تعريف  $\gamma^2$  في نطاق الترددات  $v_i$  على النحو التالي

$$\gamma^2 = \frac{|\bar{C}_{XY}(v_j)|^2 - n^2}{\bar{P}_X(v_j)\bar{P}_Y(v_j)} \dots \dots \dots (14.2)$$

حيث تم تقنين طيف القدرة من اجل الحصول على التماسك الجيد لطيف التقاطع بحيث يتم إلغاء تشويش بواسون (Poisson noise) لأنه يساهم في معامل مربع طيف التقاطع و بالتالي إنشاء  $n^2$  ، كما يمكن استنتاج التماسك من خلال التحويلات الخطية بين منحنيات الضوء، فممكّن أن يحدث انخفاض للتماسك بين منحنيات الضوء عند استعمال التحويلات الغير خطية.

هندسيًا، يعطي التماسك مؤشراً على انتشار متجه طيف التقاطع الذي تسببه البيانات غير المتماسكة. لذلك يمكن استخدامه لاستخلاص الخطأ في تأخير الزمن، حيث أن خطأ الطور في طيف التقاطع يمكن التعبير عنه انطلاقاً من ترابط بين المنحنيات الضوئية وهو يحقق العلاقة التالية [11]:

$$\Delta\varphi(v_j) = \sqrt{\frac{1 - \gamma^2(v_j)}{2\gamma^2(v_j)KM}} \dots \dots \dots (15.2)$$

و الخطأ في التأخر الزمني هو :

$$\Delta\tau(v_j) = \frac{\Delta\phi}{2\pi v_j} \dots \dots \dots (16.2)$$

من السهل أيضاً حساب التعبير المكافئ من حيث المساهمات في الطيف. يتقاطع مع مكونات الإشارة والضوضاء لتحويل فوري، و الذي سوف نفحصه فيما بعد عندما نناقش حساسية قياسات الإزاحة

نقطة مهمة يجب ملاحظتها هنا هو التماسك المستخدم لتقدير خطأ الإزاحة هو التماسك الإجمالي، حيث لم تكن قيم DSP عند مقام المعادلة (15.2) مطروح من مستوى ضوضاء بواسون. ميزة هذا النهج هي الأخطاء تأخيرات الزمن يمكن تحديده بسهولة من البيانات، دون أي افتراضات أخرى، لأن الكميات المستخدمة هي ببساطة الطيف المتقاطع DSP و يمكن ان تنشأ المشاكل بمجرد إن يكون التماسك الإجمالي مماثلاً لمصطلح التحيز  $n^2$  ، لان تجاوز التحيز يؤدي إلى قيم سلبية للتماسك. في هذه الحالة يصبح الاتساق الإجمالي  $\frac{1}{KM}$  و سيتم تشبع الخطأ المقدر في تأخير الزمن  $\Delta\phi = 1/\sqrt{2}$

الفصل الثالث

الدراسة الزمنية للمجرة النشطة

**NGC7314**

### 1.3 مقدمة :

يجمع الباحثون على أن الإشعاعات السينية الصادرة عن مجرات Seyfert ناتجة في الهالة الموجودة في محيط الثقب الأسود فائق الكتلة. تنتشر هذه الإشعاعات السينية في كل الاتجاهات ويصل جزء منها إلى مرصد الأشعة السينية ويسمى الإشعاع المباشر. و هناك جزء ينعكس على قرص التراكم ثم يصل إلى مرصد الأشعة السينية، ويسمى بالإشعاع المنعكس. يوجد تأخر زمني بين الإشعاع المباشر والإشعاع المنعكس يتعلق ببعض خواص المجرة النشطة، مثل حجم قرص التراكم.

في هذا الفصل سنقوم بتحليل زمني لمنحنيات الضوء من 5 أرصاد من مرصد XMM-Newton للمجرة النشطة NGC7314 و نقوم بحساب التأخر الزمني بين الإشعاع المنعكس و الإشعاع المباشر.

### 2.3 المجرة NGC7314

هي مجرة ذات نواة نشطة من نوع سيفرت 1 Seyfert 1 تبعد عن مجرة درب التبانة بمسافة 54.6 سنة ضوئية لها انزياح نحو الأحمر يقدر ب (  $z = 0.0048$  ) لها ثقب اسود فائق الضخامة تبلغ كتلته حوالي  $M = (0.87 \pm 0.45) \times 10^6 M_{\odot}$  من كتلة الشمس في مركزها و هو مصدر الأشعة السينية. حظيت بعدة دراسات، حيث تم رصدها بواسطة المرصد XMM-Newton شملت التحليل الزمني و التحليل الطيفي [23]

### 3.3 خواص البيانات المختارة للدراسة

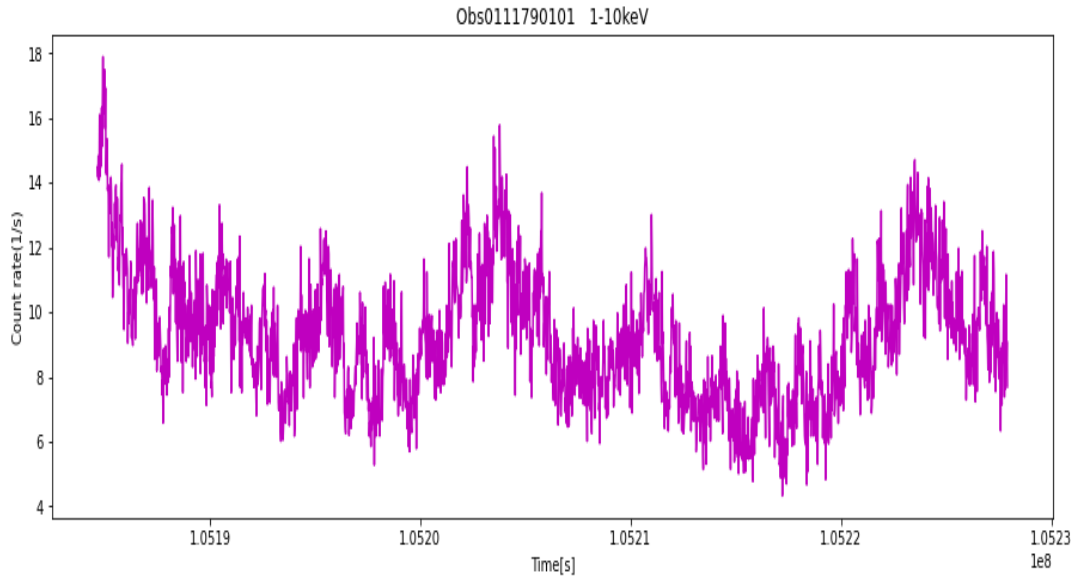
تم تحميل بيانات الأرصاد الخمسة من موقع أرشف مرصد XMM-Newton، وتمت معالجتها من أجل إستخراج منحنيات الضوء.

## الفصل الثالث

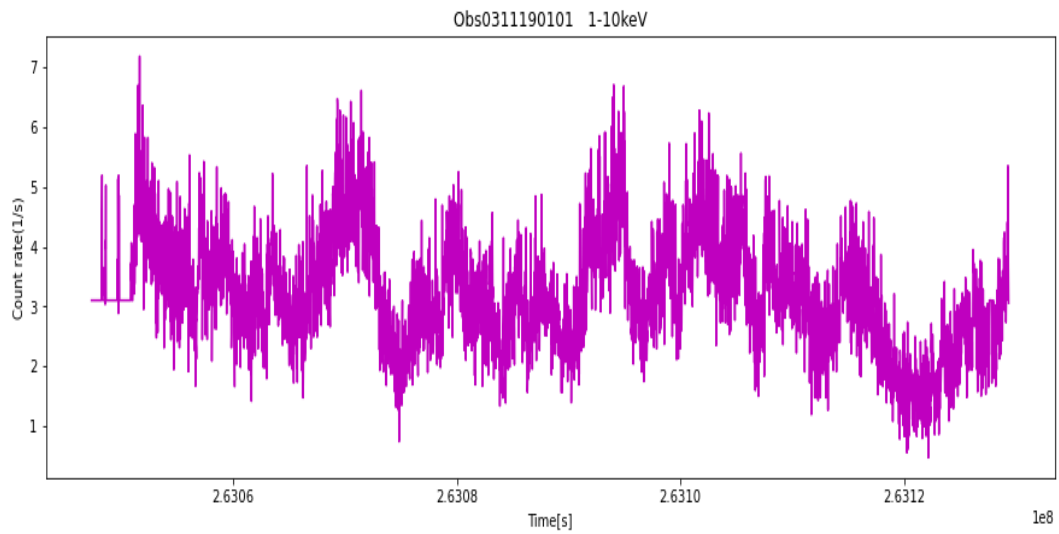
في الجدول التالي توقيت ومدة كل رصد

رقم البيانات	سنة الرصد	مدة الرصد [s]
0111790101	2001	44663
0311190101	2006	83920
0725200101	2013	140473
0725200301	2013	132100
0790650101	2016	65000

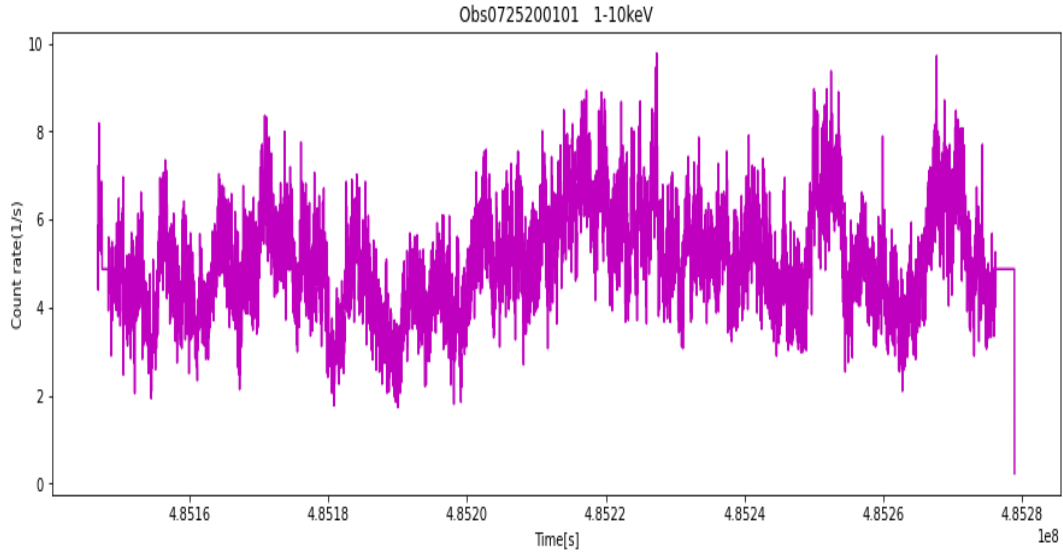
تمثل الأشكال التالية منحنيات الضوء، أي تدفق الإشعاع السيني بدلالة الزمن، للأرصادة الخمسة



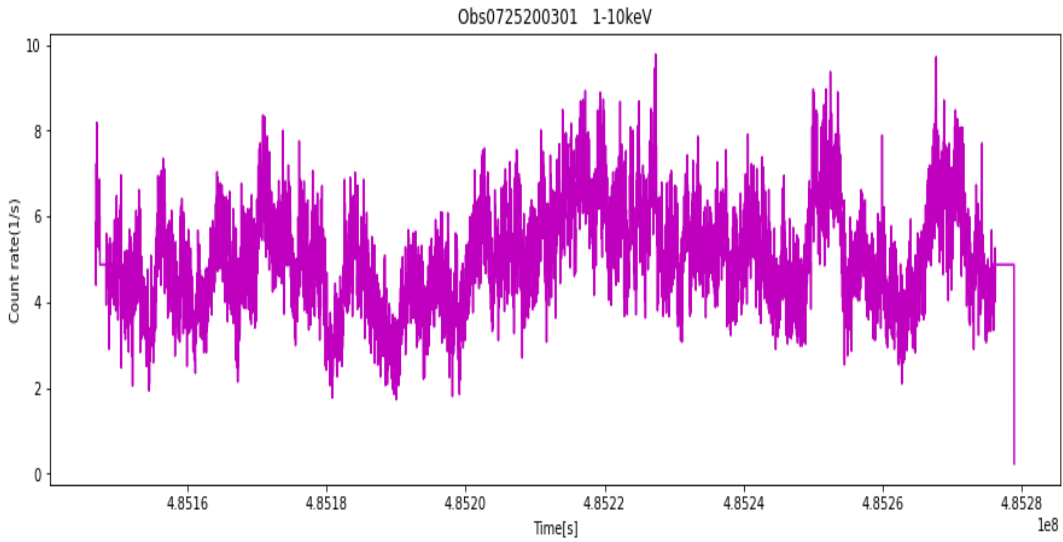
الشكل(1.3): منحنى الضوء للرصد (0111790101) في مجال الطاقة [1-10] keV



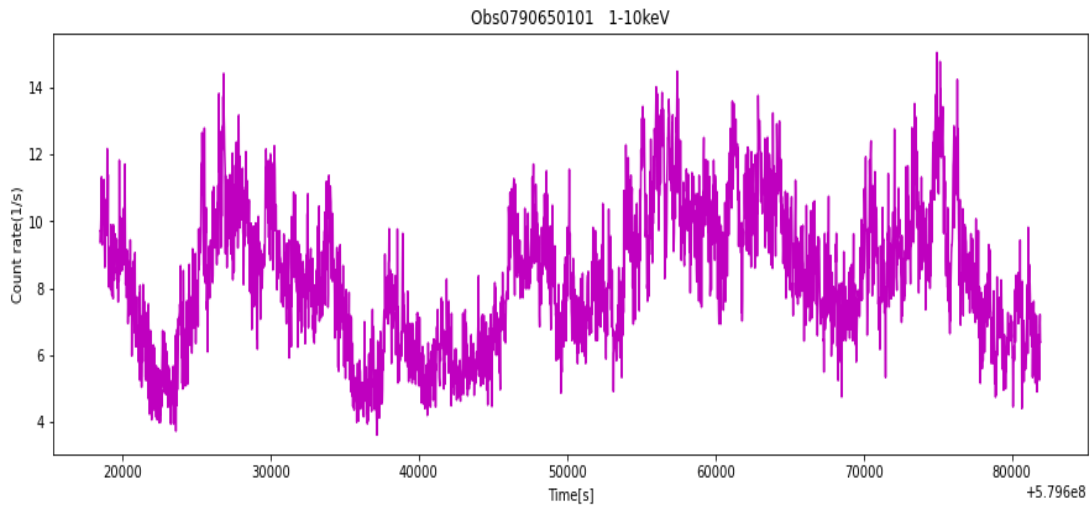
الشكل(2.3): منحنى الضوء للرصد (0311190101) في مجال الطاقة [1-10] keV



الشكل(3.3): منحنى الضوء للرصد(0725200101) في مجال الطاقة [1-10] keV



الشكل(4.3): منحنى الضوء للرصد (0725200301) في مجال الطاقة [1-10] keV



الشكل(5.3): منحنى الضوء للرصد (0725200301) في مجال الطاقة [1-10] keV

تظهر منحنيات الضوء لمختلف الأرصاد تغيرات مهمة عبر الزمن

### 4.3 التأخر الزمني بدلالة التردد

سنقوم بحساب التأخر الزمني بين الإشعاع المنعكس ذو الطاقة  $6-7$  keV و الإشعاع المستمر ذو الطاقة  $1-10$  keV ماعدا  $6-7$  keV. و لهذا الغرض سنقوم بإتباع خطوات حساب التحليل الزمني بإستعمال تحويلات فوري و التي عرضناها في الفصل الثاني.

وقمنا بإستعمال برنامج [aztools] المكون من عدة برامج Python لحساب مختلف

المقادير اللازمة للحصول على التأخر الزمني بدلالة التردد بإتباع الخطوات التالية [11]

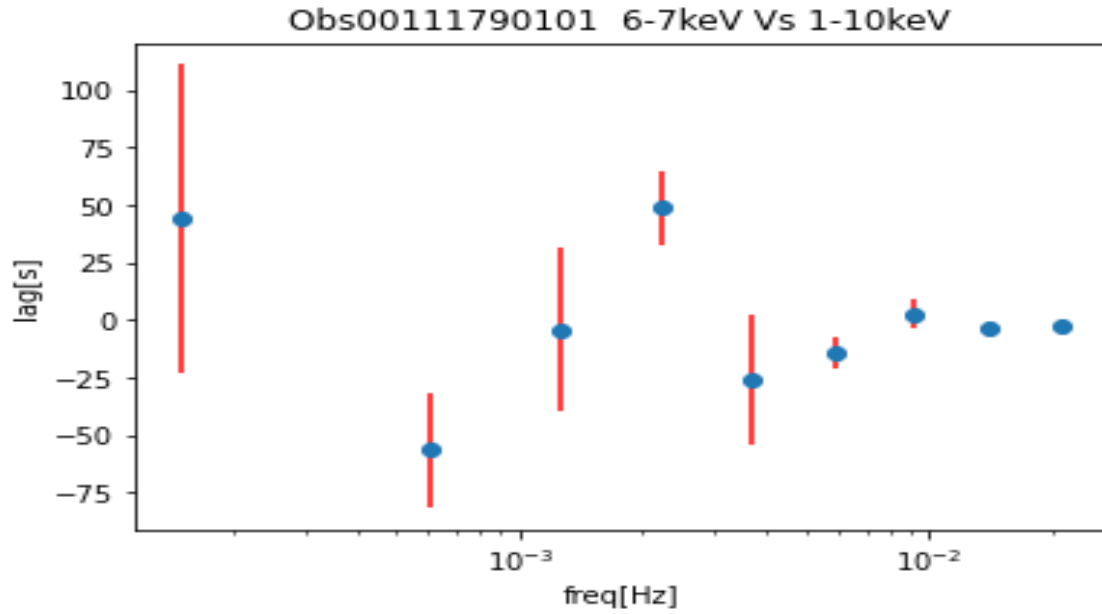
1 نحسب القدرة الطيفية للكثافة DSP (المعادلة (3.2)) لكل منحنى الضوء و طيفه مع إجمالي منحنى الضوء

2 يتم استخدام طور الطيف المتقاطع لحساب انزياح الطور (و / أو) التحول الزمني (المعادلة) بين (13.2) منحنيات الضوء.

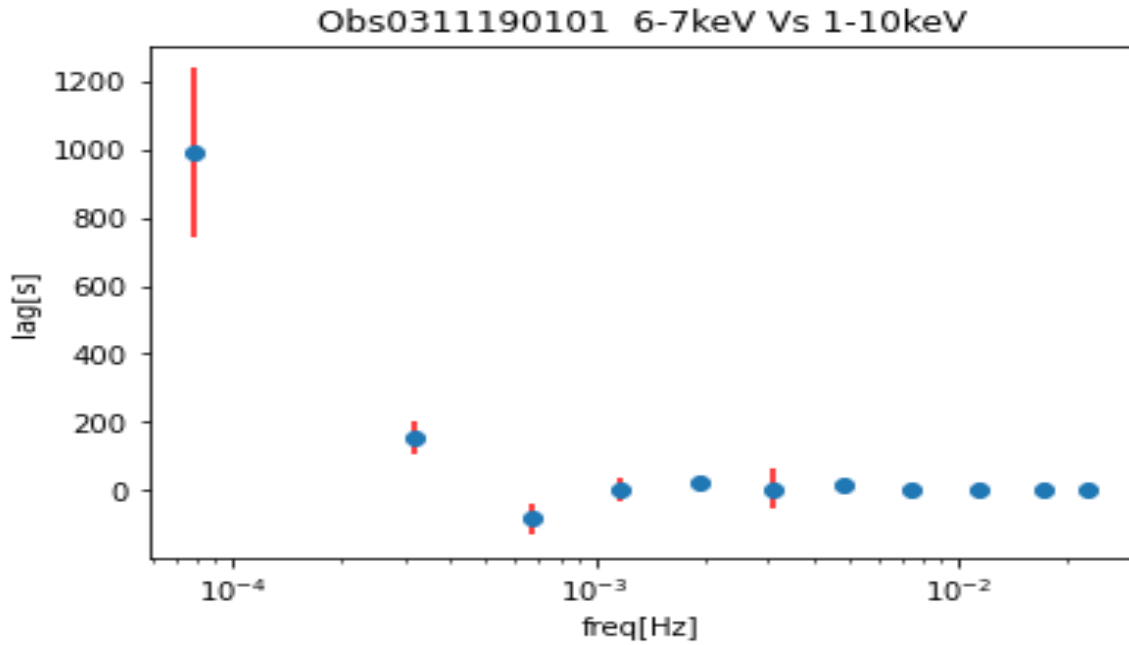
3 نستخدم التماسك المحسوب من DSP و الطيف المتقاطع (المعادلة (13.2)) لحساب الخطأ في التأخر الزمني (المعادلة (16.2))

## الفصل الثالث

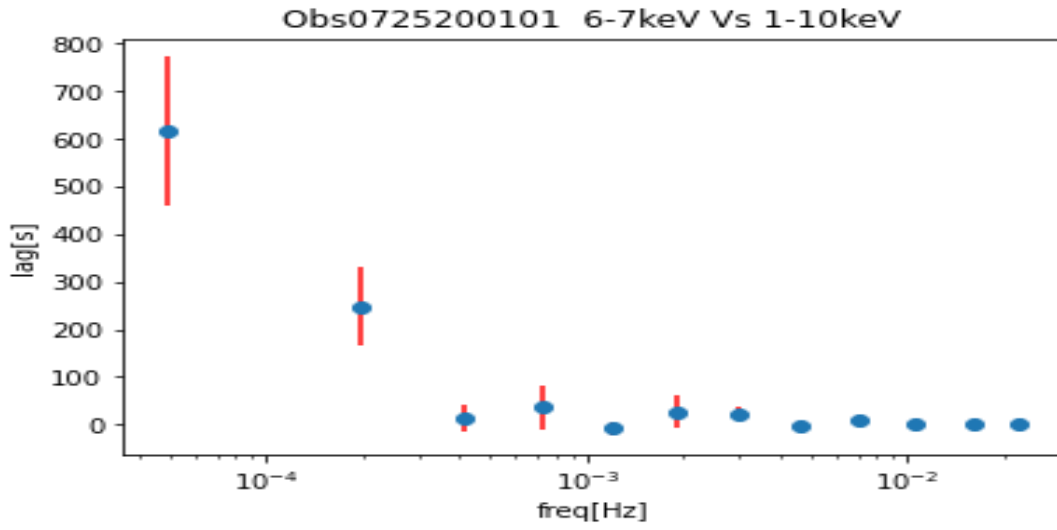
و فيما يلي المنحنيات التي تحصلنا عليها و التي تمثل التأخر الزمني بدلالة التردد بين الإشعاع المنعكس و الإشعاع الأولي للأرصاء الخمسة



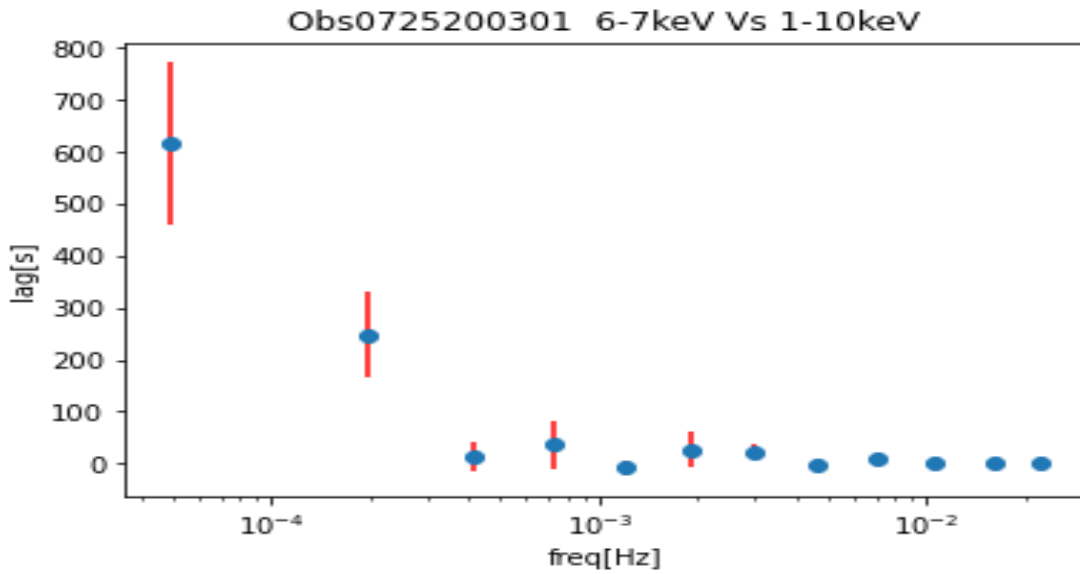
الشكل (6.3): التأخر الزمني بدلالة التردد بين الإشعاع المنعكس والإشعاع المباشر للرصد (0111790101)



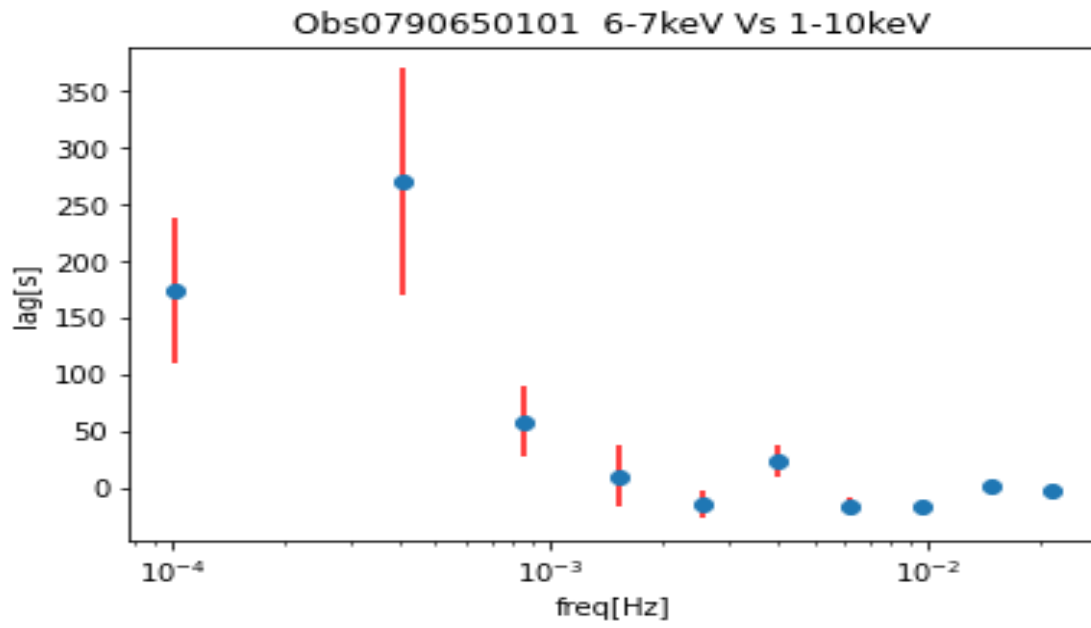
الشكل (7.3): التأخر الزمني بدلالة التردد بين الإشعاع المنعكس و الإشعاع المباشر للرصد (0311190101)



الشكل (8.3): التأخر الزمني بدلالة التردد بين الإشعاع المنعكس و الإشعاع المباشر للرصد (0725200101)



الشكل (9.3): التأخر الزمني بدلالة التردد بين الإشعاع المنعكس و الإشعاع المباشر للرصد (0725200301)



الشكل (10.3): التأخر الزمني بدلالة التردد بين الإشعاع المنعكس و الإشعاع المباشر للرصد (0790650101)

### مناقشة النتائج

نلاحظ أن التأخر الزمني بين الإشعاع المنعكس على قرص التراكم و الإشعاع المباشر في الرصد "0311190101" يصل إلى غاية 1000 نأ في الترددات الصغيرة. أما في بقية الأرصاد فهو يتغير من 200 نأ إلى 600 نأ في حدود الإرتيابات.

و بصفة عامة فإن التأخر الزمني يزداد في مجال الترددات الضعيفة و يبدأ في التناقص كلما زادت قيم الترددات

### تفسير التأخر الزمني:

- من خلال المنحنيات و النتائج المتحصل عليها وجدنا أن المنحنى الضوئي في مجال الطاقة [6-7]keV يُظهر تأخر زمني مهم
- التأخر الزمني في المجال [6-7] keV يرتبط بعملية الانعكاس في قرص التراكم أين يتوفر الحديد
- تغيير مجال التردد يؤثر على قيمة التأخر الزمني
- من أجل الحصول على دراسة كاملة للظاهرة يجب حساب التأخر الزمني بدلالة الطاقات.

### الخاتمة

في هذا العمل تطرقنا إلى دراسة زمنية لطيف الأشعة السينية للمجرة النشطة NGC7314 . في الفصل الأول ذكرنا بأنوية المجرات النشطة وخواصها، بالإضافة إلى الثقوب السوداء فائقة الكتلة. و في الفصل الثاني تعرفنا على كيفية استخراج بيانات الأرصاد التي يقوم بها مرصد الأشعة السينية XMM-Newton، وكذلك على طرق التحليل الزمني باستعمال تحويلات فوري.

و في الفصل الأخير قمنا بدراسة زمنية لبيانات الأرصاد الخمسة للأشعة السينية بواسطة XMM-Newton الصادرة عن نواة المجرة NGC7314. حيث قمنا بدراسة منحنيات الضوء و حساب التأخر الزمني بين الإشعاع المباشر و الإشعاع المنعكس على قرص التراكم، و جدنا من خلال المنحنيات أن مجال الترددات الضعيفة هو أحسن مجال لتحديد التأخر الزمني. و لإتمام هذه الدراسة علينا حساب التأخر الزمني بدلالة الطاقات.

## المراجع

- [1] Hawking, Stephen, and Stephen W. Hawking. " Black holes and baby universes and other essays ". Random House, (1994).
- [2] Comins, Neil. " À la découverte de l'Univers: Les bases de l'astronomie et de l'astrophysique ". De Boeck Superieur, (2016).
- [3] ستيفن هوكينغ. " تاريخ موجز للزمان من الانفجار الكبير حتى الثقوب السوداء ". ترجمة مصطفى ابراهيم فهمي، (2006)
- [4] ريتشارد هاموند. " من الكواركات الى الثقوب السوداء مساءلة الكون ". ترجمة ضحى خطيب، ابريل ( 2009 ).
- [5] Kutner, Marc L. "Astronomy: A physical perspective". cambridge university press, 2003.
- [6] Kruskal, Martin D." Maximal extension of schawarzchild metric: From Painlevé–Gullstrand to Kruskal–Szekeres ", Physical review 119.5 (1960): 1743.
- [7] D'INVERNO R."Introducing Einstein's Relativity ". Oxford University Press Inc. New York, (1998).
- [8] Event Horizon Telescope Collaboration. "First M87 event horizon telescope results. I. The shadow of the supermassive black hole", arXiv preprint arXiv:1906.11238 (2019).
- [9] Maica, Clavel, "Activité du trou noir supermassif au centre de la Galaxie", phd Thèse, Université Paris Sud-Paris XI, (2014).
- [10] Luc Blanchet, "Les Ondes Gravitationnelles cent ans après Einstein". Reflets de la physique 52 (2017): 6-12.
- [11] Uttley,P,et al. "X-ray reverberation around accreting black holes". The Astronomy and Astrophysics Review 22.1 (2014): 1-66.
- [12] Hannu Karttunen, Pekka Kröger, Heikki Oja, Markku Poutanen and Karl Johan Donner, " Fundamental Astronomy. Sixth Edition ", Springer 2016 .
- [13] Katz David, "La Voie Lactée ".Voie lactée.
- [14] Guillaume TRAP, "Etude du Trou Noir Massif Central de la Galaxie et de son environnement". Diss. Université Paris-Diderot-Paris VII, 2011.
- [15] Kamraj, Nikita, et al. "Probing the Physical Properties of the Corona in Accreting Black Holes." arXiv preprint arXiv:1903.05241 (2019).
- [16] Daniel Richard Wilkins, "Understanding X-ray reflection as a probe of accreting black holes", phd these, Cambridge, United Kingdom, May (2013).
- [17] Armitage, Phil, " Astrophysics 2 - Galactic and Extragalactic", 2004.
- [18] Edward Boyce, " Giant Radio Galaxies", 31October 2000.
- [19] د. علاء الدين فواد " رصد الكون، التلسكوبات الفلكية واستخداماتها ". جوان (2001).
- [20] Martin C. Weisskopf, Harvey D. Tananbaum, Leon P. Van Speybroeck, and Stephen L. O'Dell. " Chandra X-Ray Observatory (CXO) : overview". 18 July (2000)

[21] Harrison, Fiona A, et al. "The nuclear spectroscopic telescope array (NuSTAR) high-energy X-ray mission". *The Astrophysical Journal* 770.2 (2013)

[22] Van der Klis, M. "Fourier techniques in X-ray timing". *Timing neutron stars*. Springer, Dordrecht, 1989.

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

### ملخص:

دراسة التغيرات الزمنية لطيف الأشعة السينية الصادرة عن المجرات النشطة تمكننا من التعرف على بعض خواص قرص التراكم و الثقب الأسود فائق الكتلة الموجود في مركز المجرة النشطة.

تمت دراسة التغيرات الزمنية للأشعة السينية الصادرة عن نواة المجرة النشطة NGC7314 من خلال تحليل منحنيات الضوء و حساب التأخر الزمني بين الإشعاع المباشر و الإشعاع المنعكس على قرص التراكم .

كلمات مفتاحية: مجرة نشطة، ثقب اسود فائق الكتلة، NGC7314

### Abstract

Timing analysis of X-rays from active galactic nuclei allow the study of accretion disk and super massive black hole properties. We studied the light curves of the Seyfert galaxy NGC7314, and we calculated the time lag between direct X-rays emission and reflected X-rays emission

### Résumé

L'analyse temporelle des rayons X en provenance des galaxies à noyaux actifs permet de connaitre certaines propriétés du disque d'accrétion et du trou noir super massif. Nous avons étudié les courbes de lumière de la galaxie de type Seyfert, NGC7314 et calculé le retard temporel entre le rayonnement direct et le rayonnement réfléchi sur le disque d'accrétion