

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف - المسيلة

ميدان: علوم المادة

فرع: الفيزياء

تخصص: فيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية



كلية العلوم

قسم الفيزياء

رقم:

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالب: محمد كمال

تحت عنوان

دراسة طيف القدرة في مجال الأشعة السينية للمجرة النشطة NGC5506

تمت المناقشة يوم 05 / 06 / 2017 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا
مشرفا و مقررا
مناقشا

جامعة المسيلة
جامعة المسيلة
جامعة المسيلة

أ. بوفراش كريم
أ. قالي سهام
أ. غميص علي

السنة الجامعية: 2017/2016

إهداء

باسم الله وكفى، والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى، أما بعد:
فأهدي ثمرة جهدي هذا إلى من ألهماني وشحناني بالعزيمة...بفضل
تشجيعهما الدائم ودعائهما المتواصل..والدي الكريمين سببا وجودي
وسرا ناجحي.

إلى إختوتي وأختوتي أدامهم الله لي ذخراً وفخراً،
إلى أصدقائي وزملائي، وإلى جميع الأهل والأقارب،
وفي الختام أهدي عملي هذا إلى كل طالب علم ، كما أهديه إلى كل
من ساهم فيه من قريب أو من بعيد.

محمد كمال

شكر وتقدير

الحمد لله والشكر لله حمدا يليق بجلالة قدره، وعظيم سلطانه الذي وفقنا في عملنا هذا؛

ولرسوله الذي غرس في قلوبنا حب العلم والإيمان.

والذي بعد إتمامه رست أفكارنا على مرسى النهاية فخرج بذلك هذا العمل إلى النور فوجدنا

أنفسنا منقادين بشرف الوفاء وخالص العرفان وجميل التقدير إلى السيدة الأستاذة المشرفة

د. قالي سهام على قبولها بصدر رحب الإشراف على هذا البحث ومسايرتها لنا في الخطوات

التي رافقت انجازه، بما قدمته من توجيه رشيد وفيما بذلت من جهد جهيد.

على هذا الأساس نتقدم بالشكر الجزيل إلى كل أساتذة قسم الفيزياء بجامعة محمد بوضياف

بالمسيلة أذكر د. بوساهل منير و الأستاذة محادي عائشة وبقية الأساتذة الكرام .

و الشكر موصول أيضا للأساتذة المناقشين لقبولهم مناقشة مذكرتي

وفي الختام نشكر كل من ساعدنا في إتمام هذا العمل من قريب أو من بعيد؛ ونقول

لجميع جزاكم الله عنا خير الجزاءآمين.

المحتويات

الإهداء

الشكر والتقدير

1..... المقدمة العامة

الفصل الأول : فيزياء الثقوب السوداء

3..... 1-1- مقدمة

4..... 2-1- حد شاندراسيكر Chandrasekhar Limit

4..... 3-1- نصف قطر شوارزشيلد Schwarzschild Radius

5..... 4-1- دراسة أفق الحدث Event Horizon

6..... 5-1- إزاحة دوبلر Doppler Shift

6..... 6-1- الثقوب السوداء من منظور علم الفلك

7..... 1-6-1- الثقوب السوداء في ثنائيات الأشعة السينية

10..... 2-6-1- الثقوب السوداء في مراكز المجرات

11..... 3-6-1- الثقوب السوداء في أنوية النشطة للمجرات Active Galactic Nuclei

15..... 7-1- إصدارات الأشعة السينية

الفصل الثاني : برنامج دراسة الطيف XSPEC

18..... 1-2- مقدمة

18..... 2-2- أساسيات ملائمة الطيف في برنامج XSPEC

20..... 3-2- النموذج الطيفي M(E)

20..... 4-2- ملخص الأوامر في XSPEC

22.....	5-2-أساسيات التحليل في XSPEC
24.....	6-2-نماذج الملاءمة في XSPEC
28.....	7-2-مرصد XMM-Newton

الفصل الثالث : دراسة طيف المجرة النشطة NGC5506

32.....	1-3-مقدمة
33.....	2-3-الدراسة الأولية للطيف
37.....	3-3- الدراسة النهائية للطيف
41.....	4-3-مناقشة النتائج
43.....	الملحق
47.....	الخاتمة
48.....	المراجع

المقدمة العامة

الثقوب السوداء ظاهرة فلكية تحتفظ بالكثير من الألغاز حيث تمثل منطقة من الفضاء تحوي كتلة كبيرة في حجم صغير ، توجد ثقوب سوداء نجمية ناتجة عن نهاية حياة النجوم وذلك راجع لانزياح جاذبي للنجم وتوجد ثقوب سوداء عملاقة في وسط المجرات ، حيث يمكن رصدها اذا وضعت في نظام ثنائي مع نجم حيث تسحب مادة هذا النجم بفعل جاذبية الثقب الأسود مشكلا قرص التضخم ، حيث تبدي جزيئات المادة أثناء سقوطها سرعة فائقة ، كما تحدث بينها تفاعلات احتكاكات قوية ، يترتب عن ذلك ارتفاع كبير لدرجة حرارة قرص التضخم و هذا ينجم عنه انبعاث الأشعة السينية.

نصف في الفصل الأول مفاهيم حول الثقب الأسود مثل أفق الحدث ونصف قطر شوارزشيلد وسوف نصف أيضا نظم الثنائية للأشعة السينية وسببها في تشكل أقراص التضخم ، وسندرس نوع آخر من الثقوب السوداء وهي ثقوب سوداء فائقة الكتلة في ألمع مجرات الكون وهي أنوية المجرات النشطة (AGN) Active galactic Nuclei ، حيث تحظى المجرات ذات الأنوية النشطة بالعديد من الدراسات في مجال علم الفلك ، وهذا من خلال رصد جل الانبعاث الصادرة من أنويتها وهذا من خلال مسابير خاصة ، سنهتم في مذكرتنا بدراسة نوع من المجرات ذات الأنوية النشطة وهي مجرات Seyfert وذلك لإصدارها أشعة سينية كثيفة أتية من مركزها تحديدا من البلازما المحيطة و قرص التضخم للثقب الأسود.

وفي الفصل الثاني سوف نتكلم عن برنامج لدراسة طيف الأشعة السينية XSPEC من صفحة الويب الخاصة لناسا NASA ، حيث نستعرض في هذا الفصل كيفية دراسة منحنى الطيف عن طريق ملاءمته بنماذج رياضية و فيزيائية ، حيث تعطينا النماذج الرياضية وصف لشكل منحنى الطيف ، و تظهر لنا النماذج الفيزيائية التفاعلات الفيزيائية لهذا الطيف.

وفي الفصل الثالث سوف نطبق برنامج XSPEC على طيف المجرة النشطة NGC5506 التي تم رصدها من تلسكوب XMM Newton لمعرفة الخواص الفيزيائية لطيف الأشعة السينية الصادر من الثقب الأسود الفائق الكتلة لهذه المجرة .

لقد اعتمدنا على مراجع باللغة الإنجليزية والترجمة للعربية هي اجتهاد حيث أن أغلب المصطلحات التقنية لم نجد لها ترجمات باللغة العربية ولهذا حاولنا تقريب المعنى باستعمال المصطلحات الأنسب، وفي أول استعمال لأي مصطلح نضع المصطلح بالإنجليزية للتوضيح .

الفصل الأول
فيزياء الثقوب السوداء

1.1 مقدمة

تعتبر الثقوب السوداء من أكثر ظواهر الكون غموضاً، ليس فقط لأننا لا نعرف عنها الكثير، بل لكونها من أكثر البنى الرياضية والفيزيائية تعقيداً. الثقوب السوداء النجمية تنشأ من انهيار جاذبي لنجم في مراحله الأخيرة من التطور .

إن تاريخ حياة النجوم هي عبارة عن قصة صراع ما بين قوة الجذب و قوة توسع الغازات المسخنة الصادرة عن تفاعل مكونات النواة ، هذه العملية تدعى الاحتراق النووي الحراري. تحتوي النجوم على سحابة من الغازات اكبر نسبة منها هيدروجين و هيليوم ، وهي على شكل غازات مضغوطة تتسبب في رفع درجة حرارة مركز السحابة الغازية حتى تمكنها من توليد تفاعل نووي حراري [1]، والذي بدوره يصهر الهيدروجين ويحوّله لهليوم محرراً طاقة. وبعدها يصبح النجم في حالة استقرار، حيث أن الطاقة تضيع على شكل إشعاعات مولدة من طرف التفاعل النووي للهيدروجين وهذه هي حالة الشمس في الوقت الحاضر .

ومع نهاية مخزون الهيدروجين في النجم لتكوين تفاعل نووي حراري، تبدأ عملية قوة الجذب مجدداً في تكوين ضغط وحرارة داخلية والذي يصهر الهيليوم هذه المرة ويحوّله إلى عناصر أخرى محرراً طاقة. ومع هذه العملية تتغير حرارة وسطوع النجم. وأخيراً يستنزف النجم وقوده من الهيليوم وتبدأ عملية قوة الجذب ومنه تبدأ مرحلة جديدة من التفاعل النووي الحراري.

متى ينتهي هذا التطور؟ لا يستطيع هذا التفاعل الاستمرار للأبد لان عنصر الحديد يحتوي على اعلى طاقة ربط بالنسبة للنكليون الواحد، أنوية مثل المعادن أو ما يحيط بها في الجدول الدوري لا تستطيع الانصهار لتحرير طاقة لأنها تحتوي على طاقة ربط عالية هي تمثل رماد التفاعل النووي الحراري.

ما الذي يحدث للنجم عندما ينفذ الوقود النووي الحراري؟ يوجد احتمالين، أما تنتهي حالة توازن النجم، المدعمة ضد قوة الجاذبية من طرف مصدر ضغط غير حراري، أو أن النجم لا يستطيع الوصول لحالة استقرار وفي النهاية يحدث انهيار جاذبي.

يوجد الكثير من مصادر الضغط الغير حرارية . يوجد ضغط لأن مبدأ استبعاد باولي يمنع وجود إلكترونين في حالة كمية واحدة. وهذا ما يسمى بضغط إلكترون فرمي. يوجد أيضاً ضغط مماثل لفرمي لكل من البروتونات والنيوترونات [1]. ويوجد أيضاً ضغط لا حراري ناجم عن قوة التناثر النووي.

2.1 حد شاندراسيکار Chandrasekhar Limit

ليس كل نجم يموت تتجمع بقاياه في قبر أو ثقب اسود بل أن الذي يحدد نوع نهايته هو حجمه. وتبين النتائج النظرية تركيب النجوم منذ مولدها حتى دخولها لمرحلة تغير شكلها من نجم قزم ابيض ثم عملاق أحمر ... وبعدها يتحدد مصير النجم حسب كتلته.

أن النجم عندما يصل إلى نهاية عمره الحراري النووي لا يستطيع أن يبلغ حالة توازن القزم الأبيض إذا كانت كتلته أكبر من حد معين وضعه العالم شاندراسيکار ، ومن ثم أطلق عليه حد شاندراسيکار Chandrasekhar Limit وهو يبلغ $1.4 M_{\odot}$ حيث M_{\odot} تمثل كتلة الشمس . ولا يستطيع النجم أن يتقلص إلى نجم نيوتروني إذا تجاوزت كتلته $3.2 M_{\odot}$ بل يتحول إلى ثقب اسود.

إذن فما هو مصير النجم عندما يصل إلى نهاية عمره الحراري النووي وكتلته تتجاوز حد شاندراسيکار؟ يكون الضغط الداخلي قليلا ولا يستطيع دعم النجم لذلك ينهار النجم وهناك احتمال انه في أثناء الانهيار يحدث انفجار هائل يفتت النجم ويلقي بمعظم كتلته في الفضاء [2]، وما بقي منه يتحول إلى نجم نيوتروني أي تتكون مادته من جسيمات النيوترون فقط بعد اتحاد الإلكترونات والبروتونات مكونة شحنة متعادلة هي النيوترون.

أما الاحتمال الثاني فهو أن ينهار النجم انهيارا مطلقا نتيجة للضغط الهائل والجاذبية الرهيبة. وعندما تختفي الفراغات النووية في الذرات وتظهر المادة بصورة أخرى غريبة غير مألوفة لنا لا ندري كيف نصفها ، ففي الثقوب السوداء تنهار البنية الذرية وتختفي الشحنات فلا بد أن ينتج كل هذا عن موت على مستوى النجوم.

ولا تشذ شمسنا (وهي نجم متوسط من بين نجوم الكون) عن ذلك، وهل شمسنا سوف تنهار يوما، وتموت وتتكوم على نفسها وتتحول إلى ثقب اسود؟ ستموت الشمس حقا بعد خمسة ملايين سنة ، ولكنها لن تتحول إلى ثقب اسود بل إلى عملاق احمر ثم إلى قزم ابيض لان كتلتها اقل من حد شاندراسيکار.

3.1 نصف قطر شوارزشيلد Schwarzschild Radius

إن النجم النيوتروني الميت برغم كثافته وثقله، حيث يبلغ وزن السنتمتر المكعب الواحد منه حوالي مائة مليون طن، ولو مد قطره للشكل المعتاد لبلغ حوالي عشرة كيلومترات ، كل هذا، لا يقارن بالثقب الأسود، فالثقب الأسود أكثر كثافة وأثقل وزنا وأعظم انضغاطا وأقل حجما من النجم النيوتروني .

الفصل الأول

وقد كان لأبحاث العالم الفيزيائي الألماني كارل شوارزشيلد ، أثر في فهم الكثير عن الثقوب السوداء ، فقد انصب اهتمام هذا العالم على الأجسام الكروية الصغيرة ذات الكثافة العالية ، وقال ليثبت نظريته ، باننا اذا أخذنا الشمس (التي يبلغ نصف قطرها حوالي 700 الف كيلو متر) وقمنا بضغطها دون أن نخفض من كتلتها ، فان أشعتها ستجد صعوبة اكثر في الانطلاق منها ، وعندما يتقلص نصف قطر الشمس إلى حد معين فان الضوء لن ينطلق منها على الانطلاق [2]، وهذا الحد يمكن الوصول اليه بالمعادلة الذي اطلق عليها نصف قطر شوارزشيلد Schwarzschild Radius

$$r = R_s = \frac{2GM}{c^2} \approx \frac{M}{M_{\odot}} * 2950 \text{ m} \dots \dots \dots (1.1)$$

G : ثابت الجذب العام

M : كتلة الثقب الأسود

C : سرعة الضوء

M_{\odot} : كتلة الشمس

وإذا قمنا بحساب نصف قطر شوارزشيلد بالنسبة لكوكب الأرض، لمجرد التمثيل، حيث أن كتلتها $6 * 10^{24} \text{ kg}$ لوجدنا انه لو تحولت الأرض إلى ثقب اسود لكان نصف قطرها 0.89 cm.

وعندما يصبح نصف قطر النجم اقل من نصف القطر الحرج (حد شوارزشيلد) تصبح قوى الجاذبية هي المسيطرة على جميع أنواع القوى الأخرى وتكون هي العامل الذي يقوم بسحق المادة الموجودة داخل النجم المنهار.

4.1 دراسة أفق الحدث Event Horizon

يؤثر الثقب الأسود في الزمكان بطريقتين: فجاذبيته الهائلة تعيق مرور الإشارات منه إلى مصدر خارجي كما أن مرور الوقت بالقرب من الثقب الأسود يتباطأ بشكل غريب ، أن أفق الحدث هو حد الثقب الأسود الذي يليه العمق المجهول الذي يغرق فيه أي شيء مادي إلى الأبد ، الثقب الأسود وكما تمت الإشارة اليه هو عبارة عن منطقة من الزمكان والتي يمكن للمادة أو للأشعة الضوئية ولوجها مع استحالة الإفلات منها. إذا فهو ثقب لأن المادة والإشعاع بإمكانها الوقوع فيه .هو أسود لأن لا سبيل لأي إشارة ضوئية أو إشعاع الانبعاث أو الإفلات منه.

تجدر الإشارة إلى أن الثقب الأسود أساسا عبارة عن بنية زمكانية، وليس بنية مادية يمكننا أن ندركها بحواسنا. هذا ما يجعله مختلفا كل الاختلاف عما نعرفه من أجرام سماوية كالنجوم وغيرها والتي تتشكل في معظمها من المادة [3]. أيضا تمثيلنا للثقوب السوداء يستوجب أن تكون هذه الأخيرة محدودة بنوع من السطوح المغلقة والتي تسمح بدورها للضوء بالدخول، لكن دون إمكانية الإفلات. هذا السطح الحاصر للضوء يدعى أفق الحدث. في حالة أبسط نوع من الثقوب السوداء، والذي يمكن وصفه بالصيغة المترية لشوارتزشيلد (Schwarzschild metric) فأفق الحدث هنا يتموضع عند نصف قطر شوارتزشيلد بحيث يمكن اعتباره كرة نصف قطرها الإحداثي R_s .

5.1 إزاحة دوبلر Doppler Shift

إن تغير لون أو طول الموجة في طيف النجوم التي يمكن رصدها راجع إلى حركتها، و هذا التغير في اللون يسببه ما يسمى بإزاحة أو تأثير دوبلر، وهي الإزاحة في موجة الضوء لاجد النجوم عندما يتحرك في اتجاه الأرض أو بعيدا عنها.

هناك إزاحة نحو طرف الطيف الأحمر للنجم الذي يبتعد، أما بالنسبة للنجم الذي يتحرك في اتجاه الأرض فستبدو الموجات أقصر وتكون الإزاحة في اتجاه الطرف الأزرق من الطيف.

وإذا قام الباحثون بتحليل طيف أحد النجوم عندما يتحرك ناحية الأرض وهو يدور حول رفيقه (في نظام ثنائي) سيجد خطوط الطيف ستتتحرك إلى اللون الأزرق، وعندما يمر النجم بين الأرض والنجم المرافق فلا يلاحظ أية إزاحة، ويلاحظ إزاحة نحو الأحمر عند ابتعاده ليستكمل دورته حول رفيقه، وقد لا يقتصر هذا الاقتران فقط على نجمين، فان تقلص أي نجم ليكون ثقب أسود لا يعني اختفائه سيبطل محتفظا بمجاله الجاذبي، ومن ثم فالثقب الأسود (الذي يكون جزءا من نظام نجمي مزدوج) له نفس التأثير على حركة النجم الآخر، وهذا يعني أن نظام النجوم المزدوجة و انزياح دوبلر هي انسب طريقة لرصد الثقوب السوداء.

6.1 الثقوب السوداء من منظور علم الفلك

فيما يلي سوف نصف الثقوب السوداء في ثلاث أصول مختلفة، كيف بإمكاننا تعريفها وكيف تكون أساسا في معظم ظواهر الطاقة في الفيزياء الفلكية.

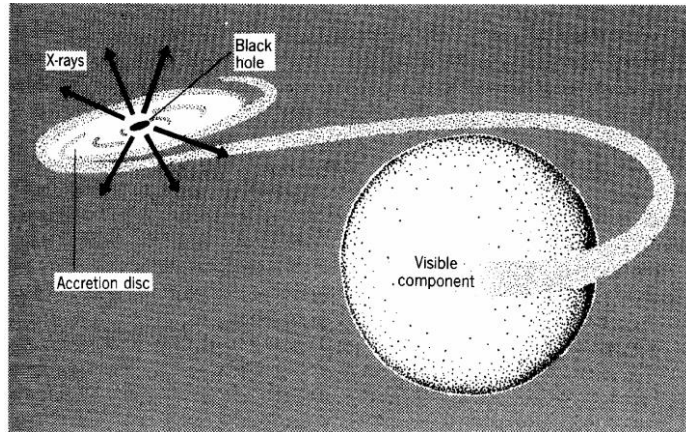
تم الكشف عن الثقوب السوداء في مراكز المجرات. على الرغم من أن هدفها تأكيد التنبؤات التفصيلية للنسبية العامة، ومع ذلك، الثقوب السوداء ليست مثيرة للاهتمام لمجرد أنها تحقق النسبية العامة بل لأنها تساهم في تفسير الظواهر الفلكية أيضا.

الفصل الأول

1.6.1 الثقوب السوداء في ثنائيات الأشعة السينية

ما يقرب من ثلثي النجوم في الكون هي أفراد في أزواج ثنائية، حيث يدور النجمين حول مركز ثقل النظام (الثنائية)، وفي بعض هذه الثنائيات، قد يستنفد النجم الضخم وقوده النووي ويتعرض للانفجار الجاذبي [1]، مما يؤدي إلى انفجار مستعر أعظم، وقد تكون بقايا الانفجار نظاما ثنائيا يتكون من جرم المضغوط _نجم نيوتروني أو ثقب أسود_ و نجم طبيعي، إذا كان المدار صغير بما فيه الكفاية فإن النجم الطبيعي يسقط مواده على شكل لولبي حول الثقب الأسود بفعل الجاذبية على شكل قرص يعرف بقرص التضخم.

يمكن الكشف عن الأنظمة الثنائية عن طريق رصد الإشعاع من قرص التضخم الذي يتشكل حول الجرم المضغوط عن طريق تأثيره على النجم المرافق الشكل 1.1، بواسطة تلسكوبات الأشعة السينية الموجودة في مدارات حول الأرض، حيث تسمى هذه الأنظمة بثنائيات الأشعة السينية (X-ray binaries) حيث تبدي هذه الأشعة لمعانا قويا ناتج عن ارتفاع درجة حرارة القرص.



الشكل 1.1 : الصورة نظام ثنائي الأشعة السينية (X-ray binaries). وانفجار أحد النجمين لتشكيل ثقب أسود ويسحب النجم قريب مشكلا قرص التضخم

يمكننا بحسابات بسيطة تقدير لمعان ودرجة حرارة أقراص التضخم حول الأجرام المضغوطة حيث في الحالة الثابتة يتم تحديد اللمعان (المعدل الكلي للطاقة المنبعثة) ودرجة حرارة قرص التضخم من خلال المعدل \dot{M} حيث تتراكم الكتلة، بتحويل التغيرات في الطاقة الكامنة الجاذبية من \dot{M} غرام من المادة في الثانية إلى طاقة مشعة، وارتفاع \dot{M} يوافق زيادة اللمعان ودرجة الحرارة.

الفصل الأول

وهناك حد أعلى للمعدل \dot{M} ، حيث يمكن للكتلة أن تتراكم من قبل الجرم المضغوط، لأنه كما يزداد \dot{M} فإن الضغط المتزايد للفوتونات الصادرة من المادة تتجاوز في نهاية المطاف سحب جاذبية الجرم المضغوط، وبالتالي هناك حد أعلى للمعان الضوء ويدعى حد ادينغتون (Eddington limit).

لتعين حد Eddington ، لدينا M كتلة الجرم المضغوط و L لمعان الإشعاع، وتدفق الطاقة عبر سطح من مسافة r من المركز هو

$$F = L/4\pi r^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

F : تدفق الطاقة

L : شدة اللمعان (Luminosity)

و تدفق كمية الحركة للفوتونات هو

$$F/c = L/4\pi cr^2 \dots\dots\dots(3.1)$$

لأن (كمية الحركة = الطاقة/سرعة الضوء)، ويؤدي تشتت الإشعاع الصادر من المواد المتراكمة إلى ضغط خارجي فعال، ولتقدير مقدار كمية الحركة الخارجي الذي ينقل إلى المادة، يمكننا استخدام المقطع الفعال تومسون (Thomson cross section) لتشتت الضوء ذو الطاقة المنخفضة من الإلكترونات :

$$\sigma_T = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon m_e c^2} \right)^2 = 0.665 * 10^{-24} \text{ cm}^2 \dots\dots\dots(4.1)$$

هنا، e شحنة الإلكترون و m_e كتلته، وبالتالي، فإن كمية الحركة المحولة إلى إلكترون واحد عند نصف القطر r لكل وحدة زمنية هو

$$\sigma_T L/4\pi cr^2 \dots\dots\dots(5.1)$$

حيث (5.1) تمثل قوة الإشعاع (the radiation force) لإلكترون حر، وإذا كنا نساوي ذلك لقوة الجاذبية، مشيراً إلى أن هناك حوالي نكليون واحد من كتلة m_p لكل إلكترون في المادة المدمرة، نجد حد Eddington للهيدروجين المتأين النقي:

$$\frac{Gm_p M}{r^2} = \frac{\sigma_T L_{Edd}}{4\pi r^2 c} \dots\dots\dots(6.1)$$

الفصل الأول

وبالتالي فإن لمعان حد Eddington :

$$L_{Edd} = \frac{4\pi G c m_p M}{\sigma_T} \dots\dots\dots(7.1)$$

$$L_{Edd} = 1.3 * 10^{38} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) \text{ erg/s} \dots\dots\dots(8.1)$$

(للمقارنة، فإن لمعان الشمس هو $L=3.8*10^{-33}$ erg/sec حيث $L=3.8*10^{-33}$ erg/sec هو وحدة من وحدات الطاقة (1erg= 10^{-7} Joule)، إن لمعان مصادر الأشعة السينية هي نسبة صغيرة (ϵ) من L_{Edd} . ومن ثم فإن تحويل الطاقة إلى الإشعاع عن طريق التراكم في كمون تجاذبي عميق (deep gravitational potential well) حيث يكون منافسا للحرق النووي الحراري الذي هو مصدر الإشعاع في النجوم.

ويمكن تقدير الطاقة الإشعاعية المميزة من قرص التضخم عند نصف القطر R من الجرم المضغوط تقريبا عن طريق مساواة اللمعان مع جسم أسود من الحجم R ودرجة الحرارة T، على الرغم من أن طيف الإشعاع لا يكون حراري عادة.

إذا كان اللمعان L هو جزء ϵ من L_{Edd} ، إذن:

$$4\pi R^2 \sigma_{S.B} T^4 = \epsilon L_{Edd} \dots\dots\dots(9.1)$$

(هنا $\sigma_{S.B}$ هو ثابت Stephan-Boltzman يميز الإشعاع من جسم أسود، وليس المقطع الفعال هو ترميز موحد.) باستعمال النتيجة (8.1) نجد

$$T \sim 5 * 10^7 \left(\frac{GM}{c^2 R} \right)^{1/2} \left(\epsilon \frac{M_{\odot}}{M} \right)^{1/4} \text{ K} \dots\dots\dots(10.1)$$

$$\sim 5 * \left(\frac{GM}{c^2 R} \right)^{1/2} \left(\epsilon \frac{M_{\odot}}{M} \right)^{1/4} \text{ keV} \dots\dots\dots(11.1)$$

على سطح النجم النيوتروني $\frac{GM}{c^2 R} \sim 1$

المدار دائري المستقر لقرص التضخم حول ثقب أسود كروي لديه $\frac{GM}{c^2 R} \sim 1/6$

في كلتا الحالتين من أجل $M \sim M_{\odot}$ ، $\epsilon \sim 5$ نجد $T \sim \text{keV}$.

وهذا ما يفسر لماذا تكون أقراص التضخم حول الثقوب السوداء أو النجوم النيوترونية هي مصادر الأشعة السينية.

1.6.2 الثقوب السوداء في مراكز المجرات:

هناك أدلة لرصد الثقوب السوداء في وسط العديد من المجرات التي تم دراستها بعناية بما في ذلك مجرتنا، هذه الثقوب الهائلة التي تكون في مركز عدة مجرات لا يمكن رصدها مباشرة.

أولاً وقبل كل شيء هي سوداء، ثانياً حجمها أصغر بكثير من الأبعاد المميزة للمجرة، مثل المجرة الحلزونية يكون لها دوامة " انتفاخ " يبلغ قطره حوالي ألف فرسخ فلكي Kiloparsecs (يستخدم الفرسخ الفلكي كوحدة لقياس المسافات بين النجوم سنة ضوئية $1 \text{pc} = 3.26$).

وبكتلة تقدر ب $10^9 M_{\odot}$ لثقب أسود يكون نصف قطر شوارزشيلد الخاص به 10^9 km (10^{-4}pc) تقريباً بحجم نظامنا الشمسي و 10 ملايين مرة أصغر من أبعاد الانتفاخ.

يمكن رصد الثقوب السوداء بشكل غير مباشر فقط من خلال تأثيرها على المادة المحيطة [1]، وتحديد ثقب أسود هائل في مركز المجرة هو نتيجة من الرصد المستمر وفكرتها الأساسية هي الكشف عن تركيز الكتلة من خلال تأثير الجاذبية على المادة القريبة .

ترتبط السرعة $V(r)$ في مدار دائري (نصف قطره r) حول توزيع كتلة متناظر كروياً بالكتلة $M(r)$ بواسطة العلاقة نيوتن :

$$\frac{V^2(r)}{r} = \frac{GM(r)}{r^2} \dots \dots \dots (12.1)$$

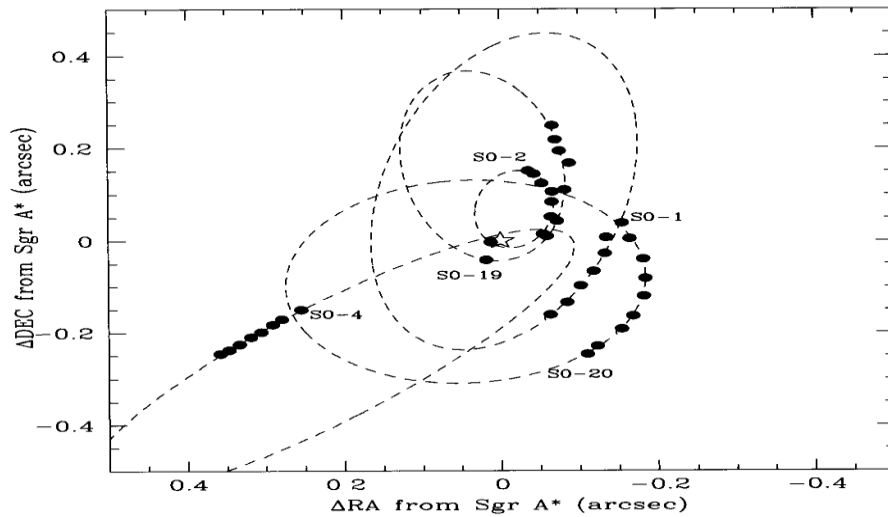
من خلال دراسة تغير $V(r)$ مع تغير r يمكن تحديد الكتلة $M(r)$. حيث أظهرت النتائج كتلة كبيرة في منطقة صغيرة في وسط المجرة ، هذا دليل على وجود ثقب أسود في مركزها، حتى عندما يكون التوزيع غير متماثل كروياً المعادلة السابقة يمكن استخدامها لتقدير الكتلة وميكانيكا نيوتن يمكن استخدامها لربط السرعات بالكتلة في حالات عامة.

هناك أدلة لوجود ثقب أسود بكتلة $3 * 10^6 M_{\odot}$ في وسط مجرتنا يرصد بالأشعة تحت الحمراء باستخدام وسائل رصد مناسبة التي تعوض جزئياً عن الاضطرابات في الغلاف الجوي للأرض، حركة النجوم بالقرب من مركز المجرة يمكن ملاحظتها مع مرور الوقت مع دقة استثنائية .

ويمكن استنتاج وجود ثقب أسود في مركز مجرتنا من هذه الملاحظات وميكانيكا نيوتن . ويمكن قياس الحركة المتوسطة للنجوم من خلال انزياح دوبلر الناتج من خطوط الطيفية للعديد من النجوم، ويزيد تركيز الكتلة إذا اقتربنا من المركز، وهذا النوع من الأدلة يشير إلى أنه قد يكون هناك ثقب أسود في مركز كل مجرة.

الفصل الأول

على سبيل المثال في مركز مجرتنا نلاحظ المسارات الإهليجية للنجوم بالقرب من مصدر الراديوي Sgr A* (sigittarius x A) في وسط مجرتنا [1][4] حيث يظهر على شكل نجمة في الوسط الشكل 2.1 .



الشكل 2.1 : يظهر الشكل نقاط هي عبارة عن المتوسطات السنوية لعمليات رصد مواقع الأشعة تحت الحمراء التي تم الحصول عليها بتقنيات بصرية مناسبة على مدى فترة 7 سنوات. ويستخدم نظام إحداثيات القطبية القائمة على الصعود الأيمن (RA:Right ascension) والانحراف (DEC:declination).

3.6.1 الثقوب السوداء و أنوية المجرات النشطة AGN:

العديد من المجرات لها نواة مشعة جدا، بحيث لمعانها يتمركز في المنطقة الوسطى لتجمع النجوم حول ثقب اسود فائق الكتلة. وتسمى هذه النوى المجرية النشطة أو (AGN) Active galactic nuclei. وتصدر انبعاثات من أشعة السينية والراديوية والأشعة فوق البنفسجية، فضلا عن الأشعة المرئية. ويتغير هذا الانبعاث في فترات زمنية قصيرة. وهذا يعني أن مصدره يجب أن يكون صغيرة الحجم . AGN هي فئة من المجرات التي تشمل الكوازارات ومجرات Seyfert عدد من المجرات هي بعض من أكثر المصادر الإشعاعية في الكون. ما الذي بإمكانه إصدار هذه الطاقة الفائقة ذات اللمعان الذي يفوق لمعان المجرة ؟ جواب الفيزياء الفلكية هو ثقب أسود هائل في مركز AGN ذو كتلة من الملايين إلى المليارات من الكتلة الشمسية.

1.3.6.1 مميزات انوية المجرة النشطة

• عالية اللمعان (High Luminosity)

ويتراوح لمعان AGN الملاحظ من 10^{42} erg/s إلى 10^{48} erg/s ($1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ Joule}$) لوضع هذا في المنظور، لاحظ أن اللمعان المجرة نموذجية هو 1044 erg/s لذلك فإن AGN أعمق. وبالتالي 10000 مرة أكثر إشراقاً من جميع النجوم في مجرة نموذجية، وذلك راجع للغاز المتراكم على الثقب الأسود حيث تنتج لمعان قوي في المركز بحيث:

$$L = \epsilon \dot{M} c^2 \dots\dots\dots(13.1)$$

\dot{M} : معدل التراكم

ϵ : الفاعلية (Efficiency)

حيث كل من الفاعلية ومعدل التراكم يختلفان من مجرة إلى أخرى.

• الطيف الواسع (Broad Spectrum)

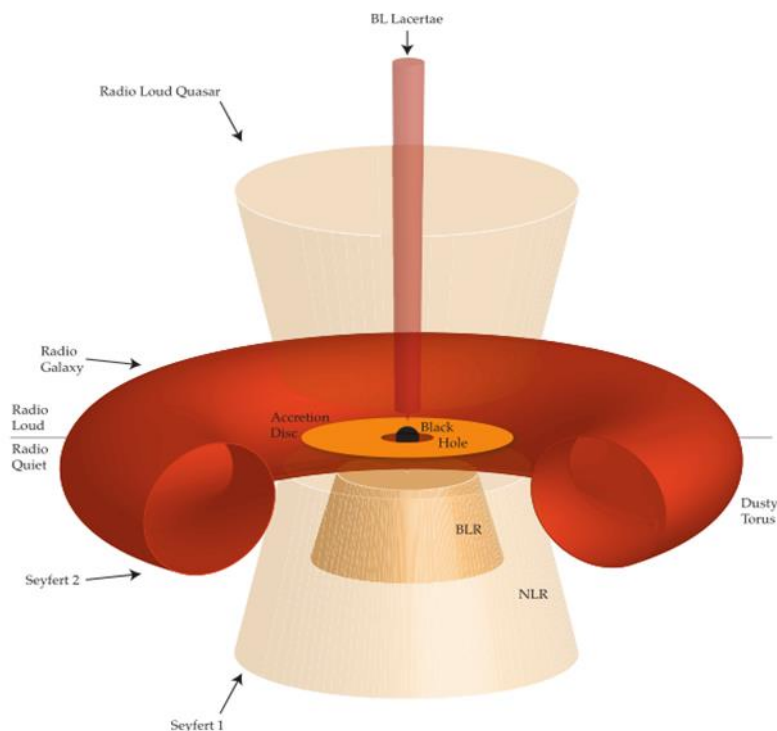
هناك النوى المجرية النشطة التي تنبعث منها كميات مختلفة من الإشعاعات السينية، والبصرية، والراديوية من الطيف، و الخطوط الطيفية واسعة بسبب تأثير دوبلر على الطيف الصادر من الغاز الذي يدور حول الثقب الأسود.

• النفثات (Jets)

تتميز AGN نفثتين متضادتي الاتجاه وعموديتين على القرص التضخم للثقب الأسود الهائل الموجود في هذه المجرة.

1. 2.3.6 تصنيف AGN

تصنف AGN إلى أنواع عديدة تبعا لشدة لمعانها في نطاق موجات مختلفة (البصرية والراديوية) ومن تلك الأنواع مجرة Seyfert والمجرات الراديوية والكوازارات (الشكل 1.3)، سنذكر مجرات Seyfert لأنها مركز اهتمامنا في هذه المذكرة.



الشكل 1.3 : نموذج لمجرة نشطة يظهر مختلف تصنيفات هذه المجرة

حيث :

BLR : مناطق خطوط الانبعاث العريضة (Broad Line Region)

NLR : مناطق خطوط الانبعاث الضيقة (Narrow Line Region)

• مجرة Seyfert (Seyfert galaxies)

هو تصنيف لأنواع من المجرات تصدر إشعاعاً ناشئاً عن غاز شديد التأين ويبدو لنا هذا الإشعاع على هيئة خطوط متميزة في الطيف. سميت مجرات Seyfert باسم العالم الفلكي Carl Seyfert لأنه أول من اكتشف هذا النوع من المجرات عام 1943 [5]. ونعتبر هذا التصنيف أحد تصنيفات الأنوية النشطة للمجرات، ويعتقد أنها تحتوي على ثقب أسود فائق الضخامة.

• خصائص مجرة Seyfert

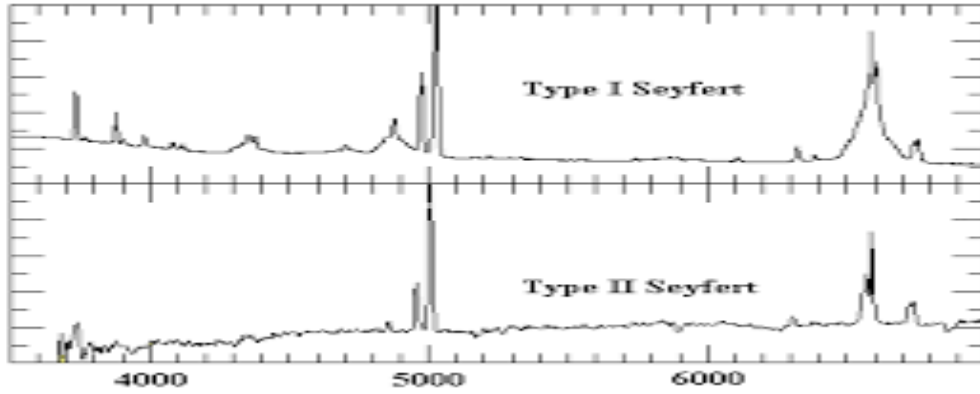
تتميز مجرات Seyfert ببنوة شديدة السطوع، وبإشعاعات موجات كهرومغناطيسية تظهر في خطوط الطيف شديدة اللعان صادرة من الهيدروجين و الهيليوم و النيتروجين و الأكسجين . وتتميز خطوط الطيف هذه بانتساع دوبلر الذي يعود إلى السرعات العالية لحركة المصدر، بين 500 إلى 40000 كيلومتر في الثانية. وتوجد تلك السرعات الفائقة في القرص الغازي المحيط عادة بثقب أسود

تنشأ خطوط الطيف المميزة هذه من سطح القرص الغازي أو ربما تصدر من سحب غازية تضيقها بشدة الغازات المتأينة الدوارة المتمركزة عند المركز. ويصعب تحديد موقع مصدر تلك الإشعاعات، إلا أن كل جزء من أجزاء القرص الغازي حول المركز يتسم بسرعة مختلفة، وكلما زادت سرعة دوران السحابة الغازية حول الثقب الأسود كلما زاد انتساع خط الطيف الذي نستقبله. كما يعتمد درجة لمعان كل حلقة من قرص السحابة الغازية بسرعة تلك الحلقة.

وتبدي مجرات Seyfert إشعاعاً شديداً في حيز الموجات الراديوية و الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية و الأشعة السينية، في حين يغلب في المجرات المعتادة الإصدار في حيز الضوء المرئي. ويعتقد أن الأشعة ذات الطاقة العالية وهي أشعة السينية صادرة من هالة شديدة الحرارة قريبة جداً من الثقب الأسود.

• التصنيف

صنفت مجرات Seyfert بنوعين 1 و 2 اعتماداً عما إذا كان الطيف ذو خطوط ضيقة وخطوط عريضة (نوع 1)، أو أن الطيف مكون من خطوط ضيقة فقط فتصنف مجرة Seyfert (نوع 2) الموضحة في الشكل 4.1، ويعتقد أن النوعين هما وجهين لجرم واحد ولكن مظهره يعتمد على زاوية رؤيتنا له، حسب نظرية Seyfert للتوحيد (Seyfert Unification theory) ويعتقد أن النوع 2 يرى عند رؤية المجرة بزاوية مما يجعل خطوط الطيف عريضة بسبب الامتصاص في الغبار حول المجرة. وقد اكتشف العالمين "أنتونوكي" و "ميلر" ذلك في مجرة Seyfert 2 [6].

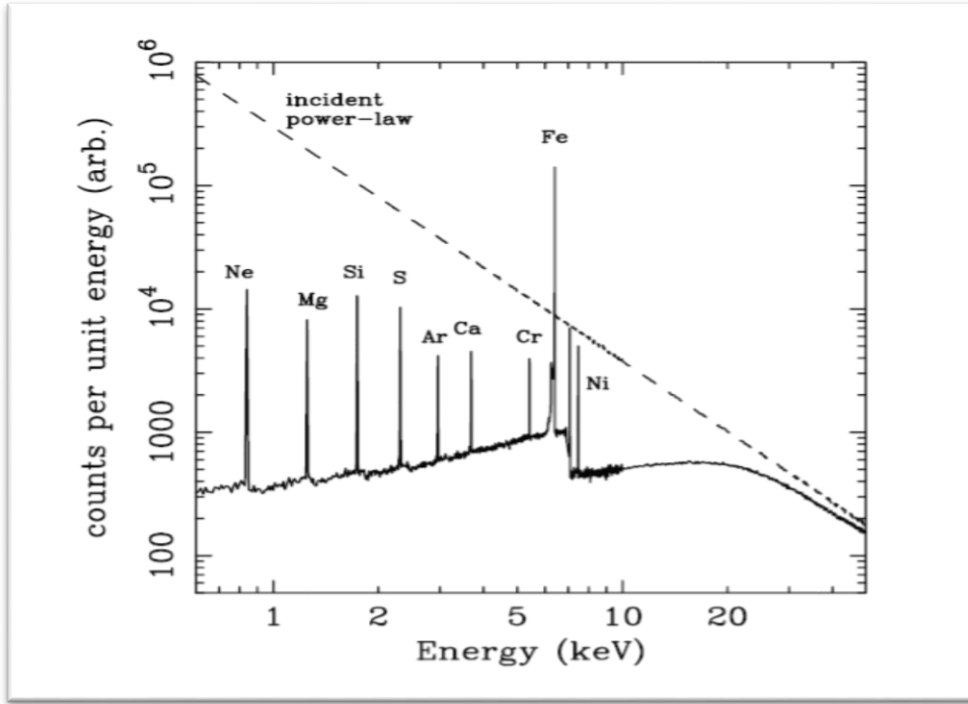


الشكل 4.1: يمثل طيف الإصدار لمجرات Seyfert حيث يمثل المحور الأفقي طول الموجة بوحدة A° (Angstrom)

7.1 إصدارات الأشعة السينية

الملاحظ عن AGN أنها مصدر للأشعة السينية الكثيفة التي تنبعث من مناطق قريبة من قرص التضخم حول ثقب أسود فائق الضخامة ، و ينتج هذا القرص على خلاف الأشعة السينية أشعة بصرية و أشعة فوق بنفسجية ... الخ، وعلى الأرجح أن آلية انبعاث الأشعة السينية هو تشتت كومبتون المعكوس للفوتونات ضعيفة الطاقة الناتجة عن الهالة الساخنة (hot corona) القريبة من قرص التضخم [7].

الشكل 5.1 يوضح إصدار مباشر للأشعة السينية من الهالة (الخط المنقطع) عند انعكاس هذه الأشعة السينية في قرص التضخم يظهر خطوط إصدار (انبعاث) في الطيف لمختلف العناصر حيث نلاحظ أن خط انبعاث الحديد يتفوق على بقية العناصر و على الإشعاع المباشر .



الشكل 5.1 : انعكاس أشعة السينية من قرص التضخم ، حيث الخط المتقطع يظهر طيف الإشعاع المباشر، و الخط المستمر يظهر الطيف المنعكس [7]

الفصل الثاني

برنامج دراسة الطيف XSPEC

1.2 مقدمة

في هذا الفصل سنتطرق إلى الأدوات المستعملة في الجانب التقني لهذه المذكرة وبتعرف على برنامج Xspec .

XSPEC هو برنامج تفاعلي، ينفذ أوامر مختلفة ويقوم بملاءمة (fit) منحنيات طيف الأشعة السينية بنماذج نظرية . هذا البرنامج مصمم ليكون كاشف مستقل تماما بحيث يمكن استخدامه لأي مطياف. وقد استخدم XSPEC لتحليل البيانات من مرصد EXOSAT، XMM-نيوتن، chandra، Swift، و Suzaku المتخصصة في رصد الأشعة السينية من مختلف مناطق الكون البعيد، وقد استعمل في حوالي 8000 بحث منشور [8] .

كُتبت النسخة الأولى من XSPEC في عام 1983 في معهد علم الفلك كامبريدج، من قبل Rick Shafer. وقد كتب لإجراء تحليل الطيفي لبيانات من وكالة الفضاء الأوروبية EXOSAT مرصد الأشعة السينية.

حاليا XSPEC عبارة عن برامجي مكون من سلسلة من البرامج لملاءمة منحنيات الطيف بنماذج نظرية في مركز غودارد لرحلات الفضاء NASA .

وتفاوتت عملية تطبيق XSPEC لعدة سنوات حتى تم بذل جهد محدد ومنسق لتحسينه، وكانت نتائج هذا الجهد XSPECv6 . وقد بدأت جهود إعادة هندسة واسعة النطاق في خريف عام 1998 لتحسين الصيانة على المدى الطويل، والسماح بميزات جديدة يمكن إضافتها وبدعم تحليل أطيف.

2.2 أساسيات ملائمة الطيف في XSPEC

على الرغم من أننا نستخدم مطيافية لقياس الطيف من مصدر جرم معين ، لكن ما يقاس في المطيافية ليس الطيف الفعلي، ولكن بالأحرى معدلات الفوتون (C) ضمن قنوات أجهزة خاصة (I) ويرتبط هذا الطيف الملاحظ بالطيف الفعلي للمصدر (f (E)) بواسطة:

$$C(I) = \int f(E)R(I, E)dE.....(1.2)$$

حيث $R(I, E)$ هو الاستجابة المفيدة ويتناسب مع احتمال اكتشاف الفوتون الواردة للطاقة E في القناة I . ومن الناحية المثالية، نود أن نحدد الطيف الفعلي للمصدر $f(E)$ ، من خلال عكس هذه المعادلة، وبالتالي اشتقاق $f(E)$ لقيم معينة من $C(I)$. ولسوء الحظ، فإن ذلك غير ممكن بشكل عام، حيث أن عملية العكس تكون غير صحيحة للتغيرات الصغيرة في $C(I)$.

الفصل الثاني

البديل المعتاد هو اختيار طيف نموذجي $f(E)$ ، يمكن وصفه من حيث بعض المعاملات (مثل $f(E, P1, P2)$) حيث $P1$ و $P2$ هي الوسائط (parameters) مطابقة للبيانات التي تم الحصول عليها من قبل المطيافية .

ولكل $f(E)$ ، يحسب طيف العد المتوقع $C_p(I)$ ويقارن مع البيانات الملاحظة $C(I)$ ، ثم يتم حساب إحصاء الملاءمة (fit statistics) من المقارنة، واستخدامها للحكم على ما إذا كانت طيف النموذج مطابق للبيانات التي تم الحصول عليها من قبل المطيافية. ونغير معاملات النموذج للعثور على قيم المعاملات التي تعطينا أفضل ملاءمة إحصائية، ويشار إلى هذه القيم على أنها أفضل ملائمة للمعاملات (the best fit parameters) حيث $f_b(E)$ يعتبر طيف نموذجي يحتوي على هذه المعاملات.

إن أهم إحصاء للملاءمة الذي نستخدمه في تحديد أفضل نموذج (best fit model) هو χ^2 الذي يعرف بالعبارة:

$$\chi^2 = \sum \frac{(C(I) - C_p(I))^2}{(\sigma(I))^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

حيث $\sigma(I)$ هو الخطأ للقناة I (إذا كانت $C(I)$ هي العد counts فان $\sigma(I)$ عادة ما تقدر بالقيمة $(\sqrt{C(I)})$ بمجرد الحصول على نموذج "أفضل"، يجب طرح سؤالين:

1- ما مدى التيقن بان البيانات الملاحظة $C(I)$ تعطينا افضل ملاءمة للنموذج $f_b(E)$ ؟

الجواب على السؤال يعرف باسم "حسن الملاءمة goodness of fit" للنموذج.

توفر الإحصائية χ^2 معياراً جيداً لحسن الملاءمة بإعطاء قيم معينة من عدد درجات الحرية degrees of freedom (الذي يحسب على أنه عدد القنوات مطروحا منه عدد معاملات النموذج) وقيمة لمستوى الثقة level of confidence . كقاعدة عامة، يجب أن تكون قيمة $\chi^2 / d.o.f$ مقارنة للقيمة 1 ($\chi^2 \sim d.o.f$) ليكون لدينا ملاءمة جيدة وتعرف بمصطلح ثاني χ^2 reduced .

2- من اجل معاملات مناسبة ($\dots P1$)، ما هو مجال القيم حيث يمكننا التأكد من أن قيمة المعاملات صحيحة؟

الجواب على هذا السؤال هو "مجال الثقة confidence Interval" للمعامل .

من اجل قيم معينة للمعاملات يتم حساب مجال التيقن عن طريق تغيير قيمة المعامل إلى أن تزداد قيمة χ^2 بمقدار معين أعلى من الحد الأدنى، أو قيمة "أفضل ملاءمة" .

الفصل الثاني

ويعتمد المقدار الذي يسمح لل χ^2 بزيادة على مستوى الثقة المطلوب، وعلى عدد المعاملات التي تحسب فيها حيز الثقة .

3.2 النموذج الطيفي M(E)

ويحسب النموذج الطيفي M(E) داخل XSPEC باستخدام مجالات الطاقة التي يحددها ملف الاستجابة:

$$M_D(E) = \int_{E_{J-1}}^{E_J} M(E)dE \dots\dots\dots(3.2)$$

حيث وحدته photon/cm²/s

يسمح XSPEC ببناء نماذج مركبة تتكون من مكونات قابلة للإضافة تمثل مصادر الأشعة السينية (power law , blackbodies ...), و مكونات قابلة للجداء، التي تعدل المكونات المضافة بواسطة عامل يعتمد على الطاقة (photoelectric absorption , ... edges) .

يمكن تركيب النماذج ثم تنفيذ عمليات على النموذج الجديد مثل :

phabs (powerlaw + phabs (bbody))

4.2 ملخص الأوامر في XSPEC

وفيما يلي قائمة بالأوامر الممكنة في XSPEC، جنباً إلى جنب مع وصف موجز للغرض من كل منها، وقد صنفت الأوامر حسب أدائها :

التحكم Control، البيانات Data، ملائمة Fit، نموذج Model، الرسم Plot، وإعداد Setting.

أوامر التحكم تتضمن أوامر التحكم عناصر مثل التحكم في التسجيل، والحصول على المساعدة، وغيرها من العناصر المتنوعة المرتبطة ببرنامج التحكم.

أوامر البيانات وتقوم بمعالجة البيانات التي يجري تحليلها، من خلال قراءة البيانات في البرنامج أو استبدال الأطياف، بالإضافة إلى ذلك أوامر البيانات تتحكم في القنوات التي يتم تحليلها.

أوامر الملائمة تقوم بتعديل سلوك الملائمة عن طريق تبديل الخوارزميات fitting algorithms أو الإحصاءات، باستخدام تحديد المعاملات، أو إجراء اختبار إحصائي.

الفصل الثاني

أوامر النموذج تقوم بإنشاء أو تغيير بالنموذج، إضافة عناصر وتغيير المعاملات، أو القيام بدلا من ذلك بحسابات تحليلية من نموذج معين.

أوامر الرسم التعامل مع جميع جوانب الرسم بتعديل المنحنيات وتغيير المحاور وأخيرا تقوم أوامر الإعداد بإدخال المتغيرات التي بدورها تؤثر على النماذج النظرية.

الوصف	الأوامر	الفئة
تعيين جدول الوفرة المستخدمة في انبعاثات البلازما ونماذج الامتصاص الكهروضوئي	Abund	الأعداد
تغيير المقاطع الفعالة في نماذج الامتصاص الكهروضوئي المستخدمة	Xsect	
تعديل عدد من المفاتيح الداخلية لبرنامج XSPEC	Xset	
اسم آخر لكلمة exit التي تعني الخروج	Quit	التحكم
عرض الملف الحالي ومعلومات النموذج	show	
الحصول على تعليمات حول أوامر برنامج XSPEC	help	البيانات
تجاهل مجموعة من قنوات	ignore	
إدخال واحد أو أكثر من ملفات البيانات	data	
تحديد النموذج الذي سيتم استخدامه عند ملائمة البيانات.	model	النموذج
حساب تدفق النموذج الحالي على مجال طاقة معينة.	flux	
تعديل معاملات النموذج. rnewpar هو معاملات الاستجابة	newpar	
العثور على أفضل نموذج ملائم للمعاملات	fit	الملاءمة
لا تسمح لمعامل النموذج بتغيير قيمته خلال عملية الملائمة	freeze	
حساب F-الإحصائية بين اثنين من النماذج	ftest	
السماح بتغيير معامل النموذج خلال عملية الملائمة	thaw	
وهي اختصار ل setplot device	cpd	الرسم
تعديل خيارات الرسم	setplot	
رسم معلومات مختلفة عن خيارات الرسم الحالية	plot	
مثل أمر الرسم ولكنها تفاعلية باستخدام PLT	iplot	
تقوم بتخزين الرسم الحالي	hardcopy	

الجدول 1.2: شرح بعض الأوامر الممكنة في XSPEC

5.2 أساسيات التحليل في XSPEC

يتم تثبيت برنامج xspec في نظام التشغيل Unix أو Mac حيث يمكننا الحصول على البرنامج والحزم المرفقة له في صفحة الويب HEASARC-NASA [9] ، ويوجد ملف مرفق يشرح كيفية تثبيته .

بعد تثبيت برنامج xspec (على سبيل المثال في Unix) يمكننا الدخول له عن طريق كتابة اسم البرنامج في نافذة المهام Terminal ، حيث تظهر لنا معلومات الخاصة بالبرنامج يليها مكان إدخال الأمر .

```
xspect12> Syntax command
```

هناك ملفات ضرورية لنستخدم xspec وهي ملف البيانات و الملف المحتوي على الخلفية Background وملفات الاستجابة Response arf و rmf .

يمكن إدخال ملف البيانات باستعمال الأمر data مضاف له اسم الملف , وإدخال الملفات الباقية على النحو التالي :

اسم ملف المعطيات data

اسم ملف الخلفية backgrnd

اسم الملف response .arf

اسم الملف response .rmf

ولرسم نتائج تحليل الطيف نستعمل الأمر cpd /xw لفتح النافذة الخاصة بالبرنامج حيث تقوم بإظهار منحنى الطيف المدروس و أي تغيير مرفق بالأمر plot .

ملاحظة : يظهر منحنى الطيف بدلالة القنوات حيث نغيره بمتغير له معنى فيزيائي وهو الطاقة باستخدام الأمر setplot energy .

ثم نقوم القيام بعملية ملائمة الطيف بنماذج فيزيائية أو رياضية حيث :

-النماذج الفيزيائية هي نماذج تدل معالماتها على معاني فيزيائية .

- النماذج الرياضية هي نماذج تدل معالماتها على معاني رياضية .

الفصل الثاني

وهذه النماذج تصنف إلى نماذج قابلة للإضافة حيث نقوم بجمعها والتي تمثل مصادر الأشعة السينية والنماذج قابلة للجداء بضربها والتي تمثل الظواهر التي تعدل الأشعة السينية (مثل الامتصاص الكهروضوئي) مع باقي النماذج لتشكيل نموذج مناسب للطيف.

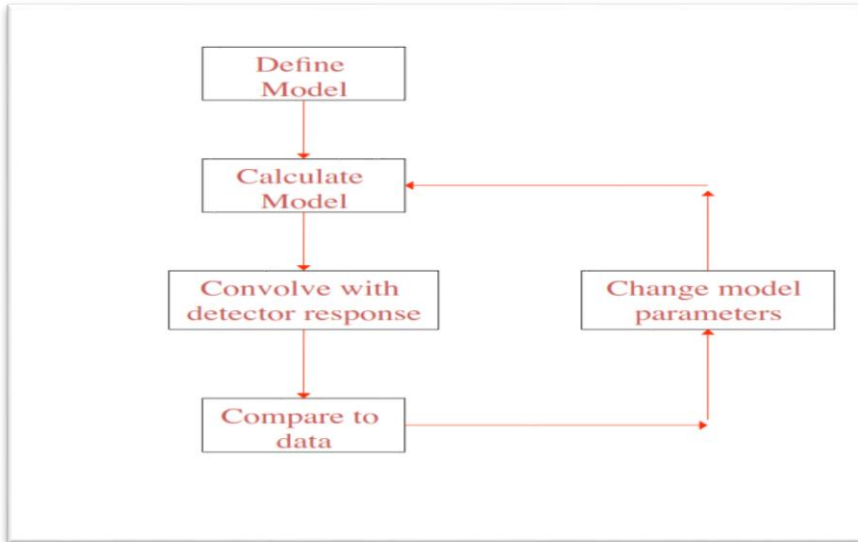
M=multiplication model

A=additive model

حيث يكون إدخال نماذج مختلفة على النحو التالي :

model $M1 * M2 * (A1 + A2 + M3 * A3)$

لتأكد من توافق بيانات الطيف مع النموذج يستخدم XSPEC مخطط المناسب الشكل 1.2 حيث يتم حساب النموذج النظري [10]، وبالمقارنة مع البيانات الملاحظة باستخدام بعض الإحصاءات مثل اختبار الإحصائي $\chi^2/d.o.f$ (Reduced chi-squared) الذي يجب أن يكون قريب من القيمة 1 ليكون لدينا نموذج صحيح موافق لبيانات الطيف (أحسن ملاءمة best fit)، و ذلك بتغيير النموذج النظري أو ضبط معاملاتها على قيم صحيحة و إدخال الأمر fit أو (عدد مرات fit).



الشكل 1.2 : عملية ملائمة النماذج النظرية للأطياف

الفصل الثاني

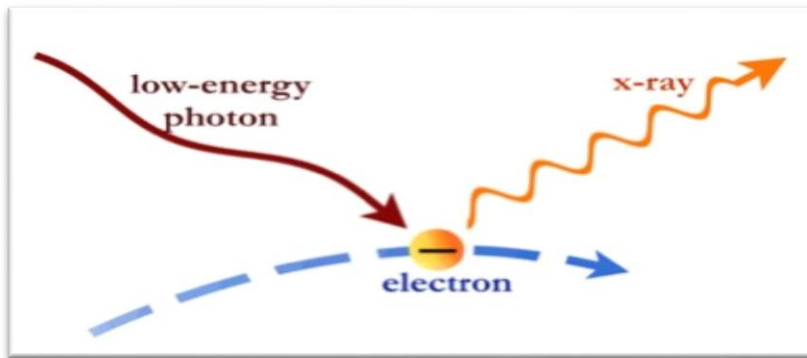
كل هذه النتائج والأوامر المستعملة تختفي بمجرد إغلاق البرنامج بالأمر quit، لكن يمكننا حفظ النتائج بإدخال الأمر log (log.اسم الملف log) وإغلاقه بالأمر log none، وحفظ منحنى الطيف و النموذج المناسب له باستخدام الأمر iplog يليها الأمر hardcopy (اسم الملف hardcopy). هذا ما يتعلق بحفظ النتائج أما عن حفظ الأوامر المستعملة فتكتب في ملف (يجب أن يكون الاسم محددًا ب xcm مثل filename.xcm) ومن ثم تنفيذها عن طريق إدخال الأمر @filename.xcm لتسهيل تحليل البيانات.

2.6 نماذج الملاءمة في XSPEC

نماذج XSPEC هي عبارة عن دوال تطابق في رسمها منحنيات الطيف وتفسر معاملاتها عدة معلومات منها مصدر وآلية انبعاث هذا الطيف. سوف نذكر بعض النماذج الأكثر استعمالاً والتي تعطينا تفسير لمعظم ظواهر انبعاثات الطيف الموجودة على مستوى الثقوب السوداء وخاصة التي في مراكز المجرات.

• Powerlaw

هذا النموذج هو نموذج فيزيائي يصف تشتت كومبتون المعكوس (Inverse Compton Scattering) للفوتونات [11]. هذا النموذج يشمل حقيقة تشتت الفوتونات الأقل طاقة المنتجة من البلازما الساخنة إلى طاقات أعلى بواسطة الإلكترونات النسبية في البلازما المحيطة بقرص التراكم في ثقب الأسود على شكل طيف إشعاع مباشر (الشكل 2.2).



الشكل 2.2: يوضح ظاهرة تشتت كومبتون المعكوس Inverse Compton Scattering

الفصل الثاني

حيث طيف الإشعاع المباشر Power Law أو ما يسمى بطيف القانون الأسي للطاقة يكون من الشكل :

$$A(E) = KE^{-\Gamma} \dots\dots\dots(4.2)$$

حيث: Γ مؤشر قانون الأسي للطاقة

K معامل التقنين وحدته photon/keV/cm²/s

وهناك نموذج مشابه يحتوي على معامل إضافي وهو الانزياح نحو الأحمر Redshift الذي رمزه z وصيغته :

$$A(E) = K[E(z + 1)]^{-\Gamma} \dots\dots\dots(5.2)$$

Gaussian •

يمكن استخدام نموذج gaussian لملائمة منحنيات خطوط الانبعاث، مع الأخذ في الاعتبار الانبعاثات من الذرات والأيونات في قرص التضخم [11].

ويمكننا تحديد طاقة انبعاث خط الحديد، لأن الحديد هو واحد من العناصر الثقيلة الأكثر وفرة في الكون و خط انبعاثه اعلى من خط انبعاث الإشعاع المباشر power law (انظر الفصل الأول). وينظر إلى خطوط الانبعاثات الحديد بين 6.4 keV من اجل FeI و 6.97 keV من اجل FeXXVI ، ومن المحتمل أن تنتج خطوط انبعاث الحديد في قرص التضخم حول الثقب الأسود.

وصيغة النموذج هي :

$$A(E) = K \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(E-E_1)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots(6.2)$$

E : طاقة خط الانبعاث keV

σ : عرض خط الانبعاث keV

K : معامل التقنين total photon/keV/cm²/s في الخط

الفصل الثاني

وبالنسبة لصيغة zgaussian هي كالتالي:

$$A(E) = K \frac{1}{(z+1)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(E(z+1)-E_I)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots(7.2)$$

حيث Z : الانزياح نحو الأحمر

Phabs •

وهي اختصار لكلمة امتصاص الكهروضوئي photoelectric absorption التأثير الكهروضوئي، أو امتصاص الكهروضوئي (PEA) هو شكل من أشكال التفاعل بين الأشعة السينية أو أشعة غاما مع المادة. يتفاعل الفوتون منخفض الطاقة مع الإلكترون في الذرة لتحريره من مداره ، احتمال هذا التأثير هو الحد الأقصى عندما تكون طاقة الفوتون الساقط incident photon تساوي أو أكبر من الطاقة الملزمة للإلكترون في مداره ('حافة الامتصاص absorption edge')

ثم يسمى الإلكترون الذي يتم إزالته photoelectron أي الإلكترون الضوئي .

يتم امتصاص الفوتون الحادث تماما في هذه العملية. وبالتالي فإنه يشكل واحدا من أسباب تخفيف من شدة الأشعة السينية لأنها تمر عبر هذه المادة .

على غرار "تأثير كهروضوئية"، أوضح أينشتاين:

يمكن للفوتونات ذات الطاقات العالية بما فيه الكفاية لتحرير الإلكترونات من المدارات الذرية. والفرق بين الطاقة الفوتونية وطاقة التأين يعطي لنا الطاقة الحركية للإلكترون المحررة:

$$E_{kin} = \hbar\omega - E_I \dots\dots\dots(8.2)$$

حيث الامتصاص هو تأثير كهروضوئية مع الإلكترونات من انخفاض مستويات الطاقة [12]. والفوتونات في نطاق أشعة X تكون (~ keV) حيث $\hbar\omega \ll m_e c^2$

مستويات الطاقة داخل الذرة التي $E_I = \hbar\omega$ تسمى حواف الامتصاص. وبالنسبة إلى حواف المدار K يعطى المقطع الفعال للفوتونات مع $E_I \gg \hbar\omega$ بواسطة:

$$\sigma_K = \frac{e^{12} m_e^{3/2} Z^5}{192\sqrt{2} \pi^5 \epsilon^6 \hbar^4 c} \left(\frac{1}{\hbar\omega}\right) \dots\dots\dots(9.2)$$

الفصل الثاني

حيث يستخدم النموذج phabs المقطع الفعال لامتصاص الكهروضوئي الذي وصيغته هي :

$$M(E) = \exp(-\eta_H \sigma(E)) \dots\dots\dots(10.2)$$

حيث $\sigma(E)$ هو المقطع الفعال للفعل الكهروضوئي (لا يشمل تشتت طومسون Thomson scattering) و η_H عمود الهيدروجين المكافئ (بوحددة 10^{22} atoms/cm²)

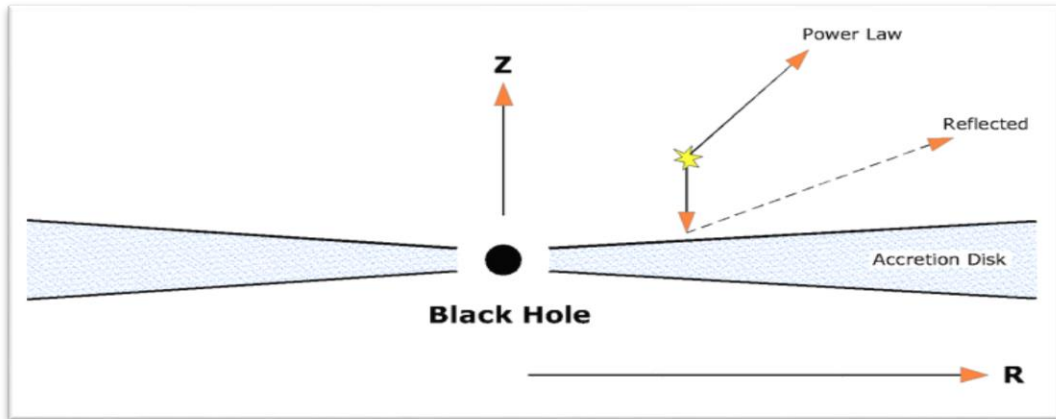
وهناك البديل الثاني لهذا النموذج الذي يحتوي على معامل الانزياح نحو الأحمر Z و رمزه zphabs وصيغته :

$$M(E) = \exp(-\eta_H \sigma(E(z + 1))) \dots\dots\dots(11.2)$$

XILLVER •

هو نموذج فيزيائي لطيف الأشعة السينية المنعكسة من قرص التضخم (الشكل 3.2) حيث يعطي لنا خصائص هذا القرص ، وتأين المادة الموجودة فيه بقياس خطوط انبعاث بعض الذرات ، حيث يظهر لنا هذا النموذج نسبة وفرة الحديد و خواص انعكاس الإشعاع المباشر power law على قرص التضخم [13] وهناك نموذج آخر محسن عن انعكاس الأشعة و يعرف بنموذج RELXILL حيث تتشابه معاملاته مع النموذج السابق .

ملاحظة: كلا النموذجين xillver و relxill لا يوجدان في حزم برنامج XSPEC ، يكفي تثبيت relxill لاستخدام كلا النموذجين .



الشكل 3.2 : إظهار الأشعة السينية المنعكسة على قرص التضخم

ويتميز هذا النموذج بالمعاملات التالية :

الفصل الثاني

Γ : مؤشر طيف الإصدار المباشر ومجاله ($0.1 < \Gamma < 3.4$)

ξ : تعطى بالعلاقة $4\pi F/n$ ، حيث أن F هو تدفق الإشعاع و $n=10^{15} \text{ cm}^{-3}$ كثافة الغاز
($0 < \log \xi < 4.7$)

A_{Fe} : نسبة وفرة الحديد في قرص التضخم ($0.5 < A_{Fe} < 10$)

i : زاوية ميلان القرص عن الأفق ($5^\circ < i < 85^\circ$)


7.2 مرصد XMM-Newton


مرصد الأشعة السينية **XMM-Newton** (X-ray Multi-Mirror Mission) هو تليسكوب خاص أرسلته الوكالة الأوروبية لأبحاث الفضاء لرصد الكون في مجال الأشعة السينية لرصد الكون حيث تم إطلاقه في سنة 1990. أهم وظيفة لهذا التليسكوب الفضائي هو رصد الكون في نطاق الطاقات العالية الصادرة من سقوط مادة على ثقب أسود نجمي أو الثقوب السوداء فائقة الضخامة في مركز المجرات ذات الانوية النشطة ، أو انفجار مستعر اعظم .


حيث يقوم برصد طيف الأشعة السينية و إدراجه على شكل ملف بيانات في موقع الويب [14] لدراسته من طرف الباحثين في مجال علم الفلك . يمكن الحصول على هذه البيانات بشكل سهل باتباع هذه الخطوات :

- أولاً الدخول للموقع الخاص لهذا المرصد [14] واختيار التبويب Archive pipeline & Catalogues حيث تظهر تبويب فيه عدة خيارات نختار أولها XMM-Newton Science Archive .

- ثانياً البحث في هذا الأرشيف بالدخول إلى العنوان Search the XMM-Newton Science Archive ، حيث تظهر لنا النافذة الموضحة في الشكل 4.2، قبل كتابة اسم البحث المراد دراسته أمام كلمة Name يجب التسجيل في الموقع بالدخول إلى كلمة Sign in ثم Register now فتظهر نافذة يمكننا إدراج معلومات خاصة بالمسجل الموضحة في الشكل 5.2 .

XMM-Newton Science Archive 

HOME SEARCH COMMAND & URL ACCESS INTERACTIVE DATA ANALYSIS TAP QUERIES CATALOGUES & TOOLS DOCUMENTATION 

 XMM-Newton Science Archive Search

Position File

Name Target in Field Of View Circle Box

Equatorial Name for Resolve

Galactic

▶ Observation and Proposal filters

▶ Display options


[Reset Form](#)

[Catalogue Search >](#) [Submit](#)

Copyright © ESA | ESAC | Science Archives Team
v9.4.1 (16-May-2017)

الشكل 4.2 : صورة نافذة الموقع الخاص بأرشيف XMM Newton

User Registration



User Name *

Password *

Confirm Password *

e-mail *

Name *

Surname *

Institute *

Address *

Address (cont)

City/Town *

State/Province *

Zipcode *

Country *

Phone

Fax

Fields marked with an () are mandatory.*

[Cancel](#) [Clear](#) [Submit](#)

الشكل 5.2: المعلومات الخاصة للتسجيل في موقع XMM Newton

ثالثا : بعد التسجيل يمكننا الدخول إلى الموقع بإدخال اسم المستخدم و كلمة السر، حيث الآن يمكننا الدخول إلى أرشيف موقع XMM Newton و إظهار نتائج البحث المراد دراسته بإدخال عنوان البحث أو اسم المجرة (NGC 5506) أو إحداثياتها .

الفصل الثاني

إضافة إلى تلسكوب XMM Newton هناك تلسكوب آخر ينافس على رصد الأشعة السينية وإعطائنا معلومات عن مصدر هذه الأشعة .

NuSTAR هو تلسكوب لرصد أشعة سينية عالية الطاقة من مصادر فيزيائية فلكية بشكل خاص للتحليل الطيفي ،وسيعمل على تجميع أشعة يبلغ طاقتها من 3 إلى 80 كيلو إلكترون فولت وتكوين صورة منها. **NuSTAR** هو المهمة الحادية عشرة ضمن برنامج ناسا (**SMEX-11**) للتلسكوبات الفضائية وهو أول تلسكوب فضائي يستخدم للتصوير المباشر للأشعة السينية عند طاقات تتجاوز الطاقات التي قام بها التلسكوب الفضائي XMM Newton بقياسها .

تتمثل أهداف **NuSTAR** الأولية في إجراء مسح عميق لثقوب سوداء ذات كتلة أكبر بلايين المرات من كتلة الشمس ، وفهم كيفية تسريع الجسيمات إلى سرعات قريبة من سرعة الضوء في نواة مجرة نشطة ؛ وفهم كيفية تشكل العناصر في انفجار النجوم الثقيلة وذلك بتصوير بقاياها والتي تسمى بقايا مستعر أعظم.

في فبراير 2013 أفصحت ناسا أن بتطابق صور **NuSTAR** وصور الأشعة السينية التي سجلها التلسكوب الفضائي XMM-Newton فهي تبين سويا معدل دوران ثقب أسود فائق الكتلة في مركز مجرة NGC1365 [15] .

الفصل الثالث

دراسة طيف المجرة النشطة NGC5506

1.3 مقدمة

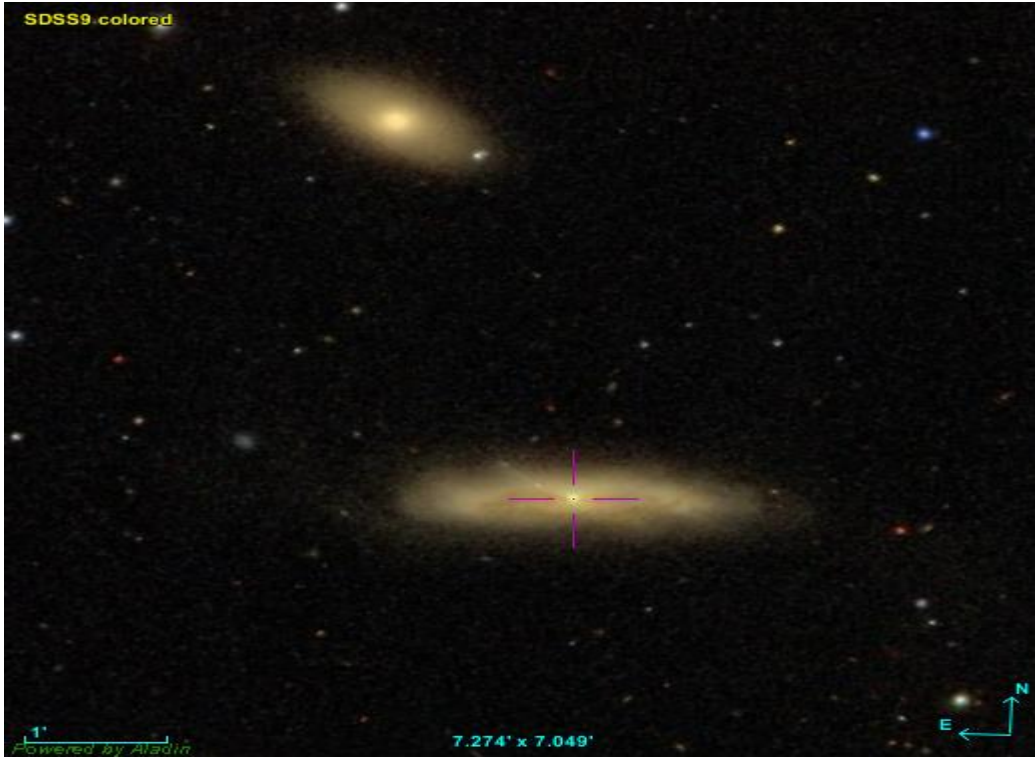
قد ذكرنا في الفصل الأول أن الثقوب السوداء هي نتيجة انهيار جاذبي للنجوم التي تفوق كتلتها حد شندراسيكر ($1.4 M_{\odot}$) ، ترصد هذه الثقوب عن طريق دراسة الأنظمة الثنائية حيث يكون فيها احد النجمين يدور حول الثاني ، في حال كان تطور نجم من بين هذين النجمين اسرع من الآخر و الذي يكون ذو كتلة كبيرة ، فان هذا الأخير ينهار على نفسه ويشكل ثقب اسود .

حيث نلاحظ أن النجم المرافق يدور حول الثقب الأسود الذي تهوي مادته إلى داخل الثقب في حركة لولبية مشكلا قرص التضخم وتعرف جزيئات المادة أثناء سقوطها سرعة فائقة ، كما تحدث بينها احتكاكات قوية ، يترتب عن ذلك ارتفاع كبير لدرجة حرارة قرص التضخم و هذا ينجم عنه انبعاث الأشعة السينية .

تم الكشف عن الثقوب السوداء فائقة الكتلة التي تساوي كتلتها حوالي مليون كتلة شمسية في مركز المجرة بدراسة نوع خاص من المجرات المعروفة بانوية المجرات النشطة AGN برصد عمليات انبعاث أشعة سينية كثيفة أتية من مركزها التي تقترن في بعض الحالات بنفثات Jets ، حيث تبدي هذه المجرات لمعانا شديدا التي يسببها تجمع النجوم حول الثقب الأسود الهائل .

يتم رصد انبعاثات الأشعة السينية من أقراص التضخم التي يتم التقاطها من خلال التجهيزات الموجودة على متن مسبار الأشعة السينية XMM-Newton ، حيث يحمل طيف الأشعة السينية معلومات مشفرة حول التفاعلات و خصائص الوسط الذي يحيط بالثقب الأسود .

في هذه الفصل سوف نقوم بدراسة طيف القدرة في مجال الأشعة السينية المرصودة للمجرة NGC5506 (New Galaxy Catalogue : NGC) من قبل جميع الأقمار الصناعية (الخاصة بالأشعة السينية) وأولها حيث صنفت من المجرات النشطة AGN تحديدا نوع Seyfert1 ، حيث تم رصد دليل لوجود خطوط الحديد المتأين لطيف هذه المجرة [16].



الشكل 1.3 : تبيين الصورة صورة المجرة NGC5506 باستخدام برنامج Aladin v9.0 باستخدام نموذج SDSS (Load HiPS SDSS colored -Band: Optical) وتظهر أيضا المجرة NGC5507 في الأعلى.

سنقوم بتحليل طيف هذه المجرة المأخوذ من المسبار XMM-Newton و نقوم بدراسته بدراسة أولية ببرنامج Gnuplot المتخصص في تحليل المنحنيات فقط و دراسة نهائية ببرنامج XSPEC الخاص بتحليل بيانات الأشعة السينية .

3.2 الدراسة الأولية للطيف

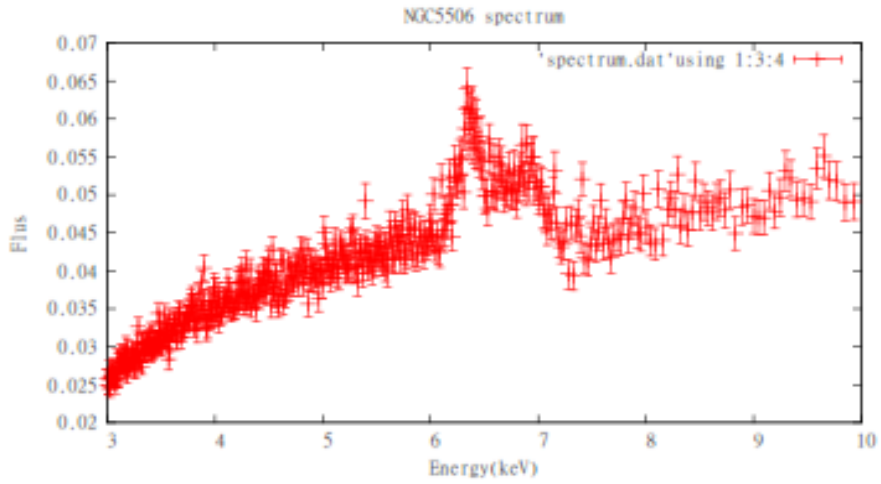
كما ذكرنا سابقا، حيث نستخدم البرنامج الحاسوبي Gnuplot version 4.4 الذي يقوم بوظيفة رسم البيانات والدوال ، ويقوم بملاءمة هذه الأخيرة بالبيانات في معلم ذو بعدين أو ثلاث أبعاد و هو برنامج حر open source يعمل على جميع أنظمة التشغيل .

حيث نطبق البرنامج على منحنى طيف القدرة للمجرة NGC 5506 الموضح في الشكل 2.3 المكون من 750 نقطة بيانية ممثلة في ثلاث أعمدة انظر الجدول 1.3

الفصل الثالث

الخطأ	التدفق	الطاقة (keV)
4.03803046E-4	1.08372057E-2	2.00377989
4.40899137E-4	1.06056333E-2	2.00875497
4.13488044E-4	1.01352707E-2	2.01372504
4.15440241E-4	1.08089736E-2	2.01870012
4.04524384E-4	1.04603441E-2	2.02367496
4.1617392E-4	1.06528932E-2	2.02865005
4.55406407E-4	1.05140563E-2	2.03362513
4.52283508E-4	1.07844165E-2	2.03859997
4.2613034E-4	1.0460468E-2	2.04358006
4.42918274E-4	1.03466865E-2	2.0485549
4.42610675E-4	1.14724366E-2	2.05352998
4.61626216E-4	1.09747173E-2	2.05851007
4.3018139E-4	1.09123979E-2	2.06348991
.....

الجدول 1.3 : مقطع من منحني طيف المجرة NGC5506



الشكل 2.3 : منحني طيف المجرة NGC5506

الفصل الثالث

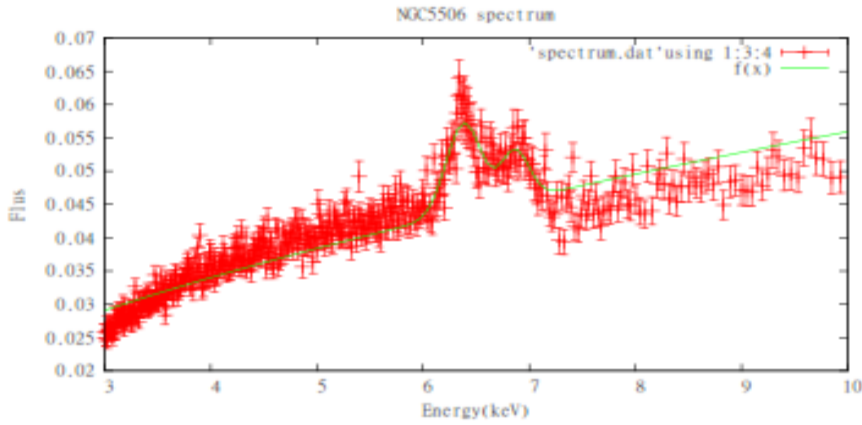
ونقوم بملاءمة منحنى طيف المجرة بنموذج مكون من دالتي Gaussian لان المنحنى يحتوي على ذروتين في المجال 6-7 keV مضافة اليه قانون الأسّي للطاقة power law انظر الشكل 3.3 .

حيث عبارة الدالة Gaussian :

$$G(E) = Norm * e^{\frac{-(E-E_l)}{2\sigma^2+2}} \dots\dots\dots(1.3)$$

و عبارة قانون الأسّي للطاقة power law :

$$pow(E) = KE^{-\Gamma} \dots\dots\dots(2.3)$$



الشكل 3.3: ملاءمة منحنى طيف المجرة NGC5506

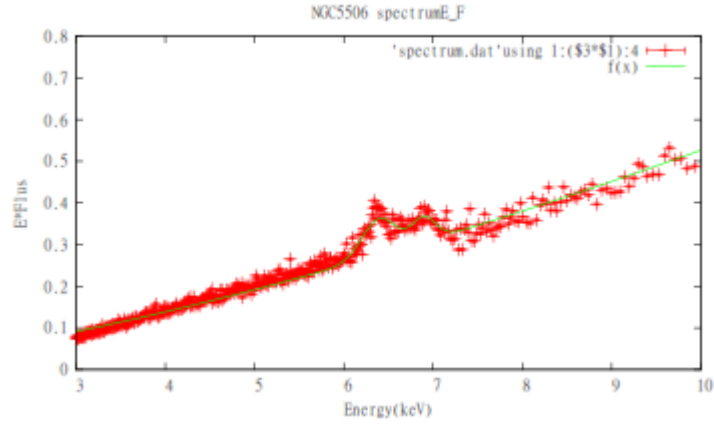
ولتحسين ملاءمة المنحنى و مطابقة دالتي Gaussian للذروتين قمنا :

-بضرب قيم الطاقة Energy في التدفق Flux (انظر الشكل 4.3) حيث

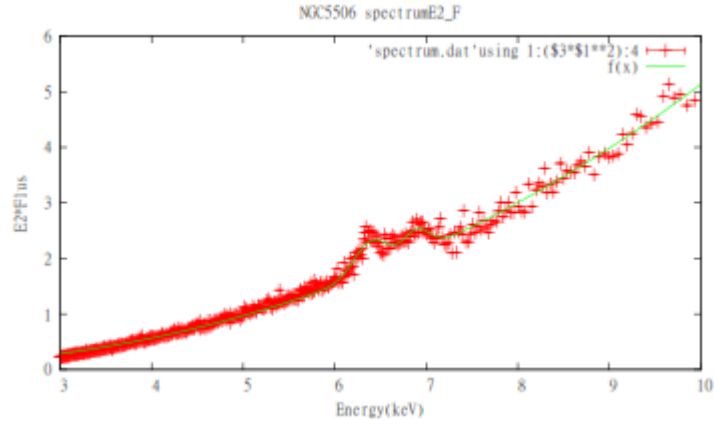
$$E * Flux = f(E) \dots\dots\dots(3.3)$$

- بضرب قيم مربع الطاقة Energy في التدفق Flux (انظر الشكل 5.3) حيث

$$E^2 * Flux = f(E) \dots\dots\dots(4.3)$$



الشكل 4.3: ملاءمة منحنى طيف المجرة NGC5506 (تغيير قيم التدفق Flux بالقيم $E \cdot \text{Flux}$)



الشكل 5.3: ملاءمة منحنى طيف المجرة NGC5506 (تغيير قيم التدفق Flux بالقيم $E^2 \cdot \text{Flux}$)

يظهر برنامج Gnuplot نتائج رياضية عن طيف القدرة للمجرة NGC5506 الموضحة في الجدول 2.3 ، ويمكن تفسير هذه النتائج بان لدينا خطين لانبعاث الحديد الموافق للذروتين في القيمة $E1$ و $E2$ ، بحيث أن مصدرها يكون قرص التضخم من الثقب الأسود في مركز المجرة .

الفصل الثالث

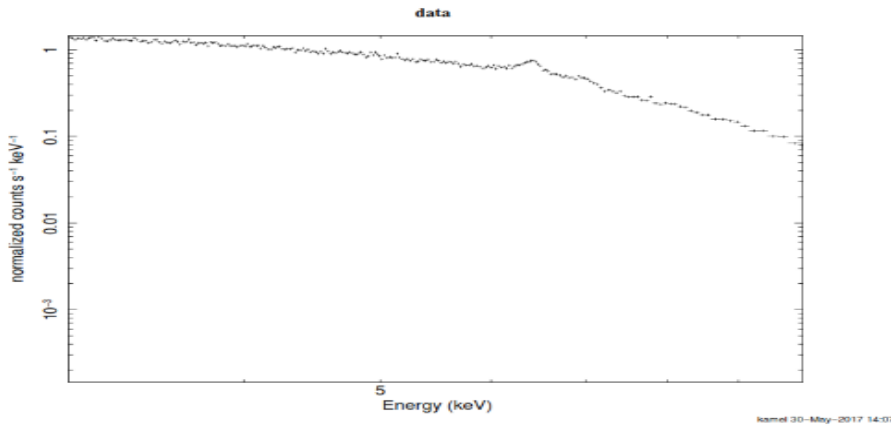
المعاملات	المنحنى في الشكل 3.3	المنحنى في الشكل 4.3	المنحنى في الشكل 5.3
Norm1	0.013454 +/- 0.000993	0.08802 +/- 0.004619	0.57487 +/- 0.02668
El 1	6.38241 +/- 0.01795	6.39448 +/- 0.01592	6.39601 +/- 0.01393
σ 1	0.165182 +/- 0.01808	0.19233 +/- 0.01581	0.181501 +/- 0.01352
Norm 2	0.00760 +/- 0.001153	0.05913 +/- 0.00593	0.423112 +/- 0.03215
El 2	6.86459 +/- 0.03018	6.89488 +/- 0.02026	6.89191 +/- 0.01718
σ 2	0.132771 +/- 0.03081	0.13250 +/- 0.02	0.141119 +/- 0.01702
Γ	-0.543298 +/- 0.01025	-1.45588 +/- 0.00903	-2.40174 +/- 0.00921
K	0.016011 +/- 0.000255	0.01843 +/- 0.000294	0.0203587 +/- 0.00037

الجدول 2.3: أفضل ملاءمة للقيم (Best fit parameter) باستعمال برنامج Gnuplot

3.3 الدراسة النهائية للطيف

قمنا سابقا بدراسة رياضية لمنحنى طيف المجرة NGC5506 باستعمال برنامج Gnuplot ، والان نقوم بتحليل الطيف ببرنامج متخصص في دراسة طيف الأشعة السينية وهو XSPEC ، حيث نستعمل النماذج الملاءمة المذكورة في الفصل الثاني .

لدينا طيف في مجال الأشعة السينية للمجرة NGC5506 من ثقب اسود فائق الكتلة ذو انزياح احمر $z=0.0618$ وكتلة في حوالي $5 * 10^6$ إلى 10^8 كتلة شمسية [16] ، حيث يظهر منحنى طيف المجرة في الشكل 6.3 .



الشكل 6.3 : منحنى طيف المجرة NGC5506

الفصل الثالث

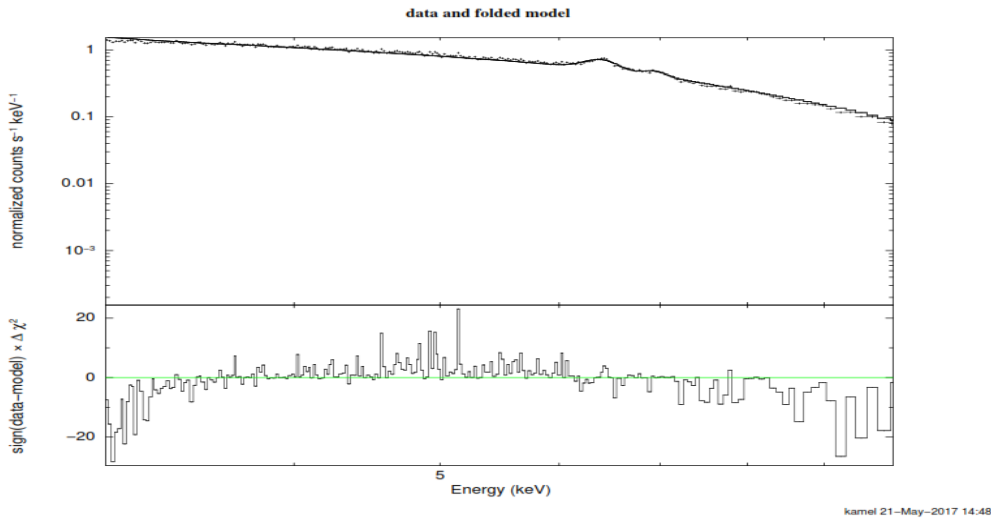
لمعرفة التفاعلات الفيزيائية لطيف المجرة NGC5506 نقوم أولاً بملاءمة منحنى الطيف مع قانون الأسّي للطاقة power law و دالتي Gaussian (مثل الدراسة الأولية) ، هذه الملاءمة غير مقبولة لأن نسبة الملاءمة ليست جيدة $\frac{\chi^2}{dof} = \frac{2103}{1399}$ (ملاءمة جيدة يجب $\frac{\chi^2}{dof} \sim 1$) المبينة في الشكل 7.3 و الشكل 8.3 .

```

=====
#Model powerlaw<1> + gaussian<2> + gaussian<3> Source No.: 1 Active/On
#Model Model Component Parameter Unit Value
# par comp
# 1 1 powerlaw PhoIndex 1.34116 +/- 6.79864E-03
# 2 1 powerlaw norm 8.18523E-03 +/- 8.78482E-05
# 3 2 gaussian LineE keV 6.93846 +/- 1.59235E-02
# 4 2 gaussian Sigma keV 7.24827E-02 +/- 2.27896E-02
# 5 2 gaussian norm 3.13930E-05 +/- 3.59047E-06
# 6 3 gaussian LineE keV 6.39272 +/- 7.45095E-03
# 7 3 gaussian Sigma keV 0.134923 +/- 9.08787E-03
# 8 3 gaussian norm 1.06066E-04 +/- 4.40521E-06
=====

```

الشكل 7.3 : احسن قيم ملاءمة للنموذجين power law و Gaussian



الشكل 8.3 : ملاءمة منحنى الطيف مع النموذج ونسبة التطابق بينهما المتمثل في $\Delta\chi^2$

الفصل الثالث

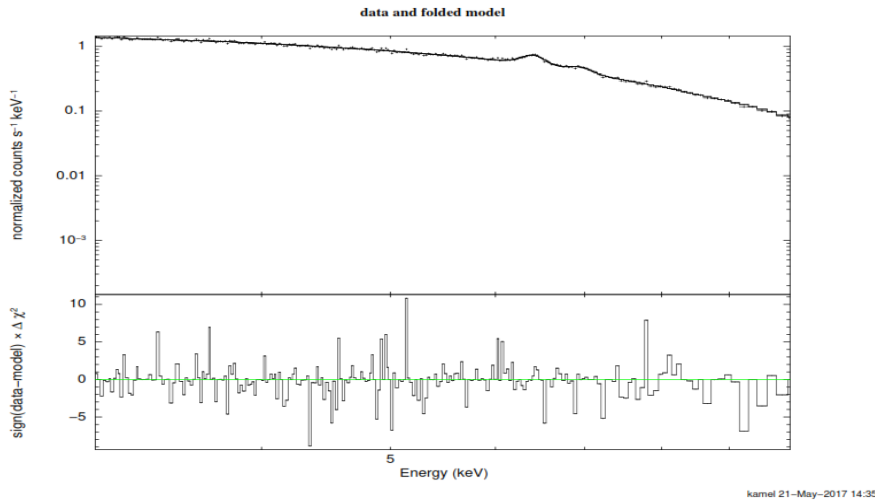
ولتحسين هذه القيمة أضفنا النموذج phabs و zphabs بجداثهما في النموذج السابق ، حيث يمثلان ظاهرة الامتصاص الكهروضوئي لهذا الطيف من قبل المادة المحيطة ، بإظهار كثافة الهيدروجين N_H وقيمة الانزياح نحو الأحمر Z ، وتظهر نسبة الملائمة بقيمة $\frac{\chi^2}{dof} = \frac{1553}{1389}$ المبينة في الشكلين 9.3 و 10.3 .

```

=====
Model phabs<1>*zphabs<2>(powerlaw<3> + gaussian<4> + gaussian<5>) Source No.: 1 Active/On
Model Model Component Parameter Unit Value
par comp
1 1 phabs nH 10^22 2.85875 +/- 4.70701
2 2 zphabs nH 10^22 4.40651E-02 +/- 5.47245
3 2 zphabs Redshift 6.18100E-02 frozen
4 3 powerlaw PhoIndex 1.65278 +/- 1.65323E-02
5 3 powerlaw norm 1.58597E-02 +/- 5.33519E-04
6 4 gaussian LineE keV 6.94107 +/- 2.64909E-02
7 4 gaussian Sigma keV 9.81570E-02 +/- 3.39692E-02
8 4 gaussian norm 3.36757E-05 +/- 2.44001E-05
9 5 gaussian LineE keV 6.40097 +/- 6.89780E-03
10 5 gaussian Sigma keV 9.52595E-02 +/- 8.96637E-03
11 5 gaussian norm 8.94302E-05 +/- 4.13325E-06
=====

```

الشكل 9.3 : احسن قيم ملائمة للنموذج المركب من power law Gaussian , phabs و zphabs



الشكل 10.3 :ملائمة منحنى الطيف مع النموذج

الفصل الثالث

و لدراسة فيزيائية لطيف المجرة NGC5506 نقوم بتغيير النموذج الرياضي (Mathematical model) Gaussian بنماذج الانعكاس Xillver و Relxill اللذان يظهران فيزياء انعكاس الانبعاث المباشر للطيف من البلازما على قرص التضخم وذلك لمعرفة خواص هذا القرص مثل زاوية ميلان القرص عن الأفق ونسبة الحديد فيه .

حيث نقوم بملاءمة منحنى الطيف بالنموذج النهائي بنسبة ملاءمة $\frac{\chi^2}{dof} = \frac{1645}{1399}$ انظر إلى الشكلين 11.3 و

12.3 و

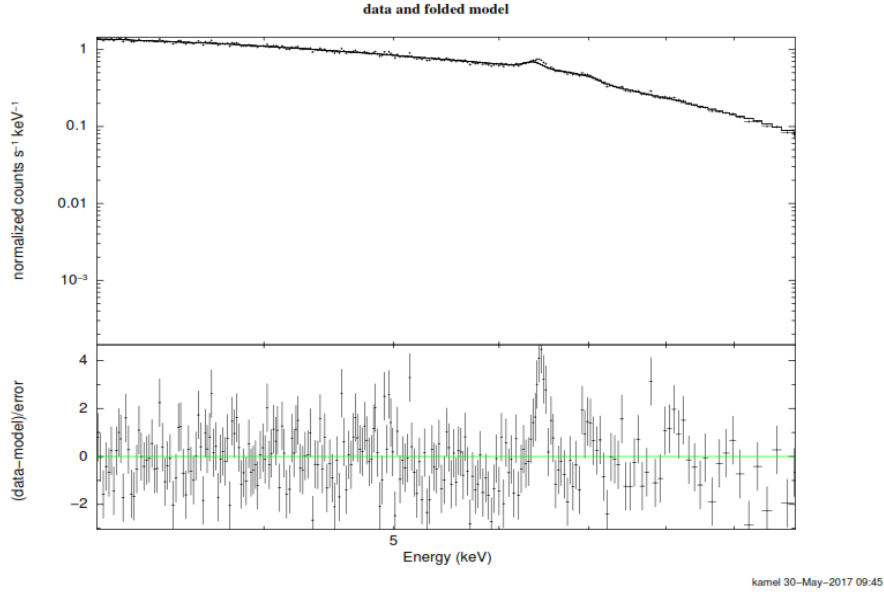
Model phabs*zphabs(powerLaw+xillver+relxill)

```

=====
#Model phabs<1>*zphabs<2>(powerlaw<3> + xillver<4> + relxill<5>) Source No.: 1 Active/On
#Model Model Component Parameter Unit Value
# par comp
# 1 1 phabs nH 10^22 3.50065 +/- 14.9677
# 2 2 zphabs nH 10^22 0.529694 +/- 15.2207
# 3 2 zphabs Redshift frozen
# 4 3 powerlaw PhoIndex 0.480032 +/- 1.48805
# 5 3 powerlaw norm 6.76350E-04 +/- 2.92415E-03
# 6 4 xillver gamma 1.81710 +/- 7.97003
# 7 4 xillver Afe 10.0000 +/- 126.325
# 8 4 xillver Ecut keV 500.000 frozen
# 9 4 xillver logxi 0.463807 +/- 239.776
# 10 4 xillver z 6.18100E-03 frozen
# 11 4 xillver Incl deg 41.0000 frozen
# 12 4 xillver refl_frac 1.29000 frozen
# 13 4 xillver norm 3.32526E-05 +/- 9.89276E-05
# 14 5 relxill Index1 2.80000 frozen
# 15 5 relxill Index2 2.00000 frozen
# 16 5 relxill Rbr 15.0000 frozen
# 17 5 relxill a 0.996964 +/- 4.64902
# 18 5 relxill Incl deg 41.0000 frozen
# 19 5 relxill Rin -1.00000 frozen
# 20 5 relxill Rout 400.000 frozen
# 21 5 relxill z 6.18000E-03 frozen
# 22 5 relxill gamma 2.38532 +/- 0.879009
# 23 5 relxill logxi 3.39905 +/- 1.00261
# 24 5 relxill Afe 1.45930 +/- 3.47626
# 25 5 relxill Ecut keV 500.000 frozen
# 26 5 relxill refl_frac 1.28875 +/- 2.09046
# 27 5 relxill norm 2.31265E-04 +/- 3.89928E-04
#
=====

```

الشكل 11.3 : احسن قيم ملاءمة للنموذج النهائي



الشكل 10.3: ملاءمة منحنى الطيف مع النموذج النهائي

4.3 مناقشة النتائج

من أجل التعرف على الخواص الفيزيائية لقرص التضخم نبدأ ملاءمة رياضية، حصلنا فيها على أن مصدر الأشعة السينية هو تفاعل كومبتون المعكوس للفوتونات من البلازما قرب الثقب الأسود حيث نرصد هذه الأشعة على شكل انبعاث مباشر Powerlaw emission بمؤشر الطيف $\Gamma=1.81$ ثم أخذنا بعين الاعتبار وجود الهيدروجين و امتصاصه للأشعة المتمثلة في كثافة عمود الهيدروجين $N_H=3.5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ وكذلك الانزياح نحو الأحمر $z=0.00618$ حيث تقدر المسافة بين مجرتنا وهذه المجرة $d \sim 24 \text{ Mpc}$ و تحسب بالعلاقة :

$$d = \frac{z \cdot c}{H_0} \dots \dots \dots (5.3)$$

$H_0=70 \text{ Km/s.Mpc}$ ثابت Hubble

C سرعة الضوء

Z الانزياح نحو الأحمر Red shift

الفصل الثالث

بعد ذلك استعملنا نماذج فيزيائية حديثة [13] تأخذ بعين الاعتبار الانعكاسات النسبوية في مختلف مناطق قرص التضخم . فأضفنا النموذجين Xillver و Relxill فتحصلنا على إصدار منعكس Reflected emission بزاوية ميلان القرص Inclination angle تقدر ب 41^0 و تظهر قيمة نسبة وفرة الحديد في القرص $A_{Fe}=1.46$ ، حيث أن هذه النتائج كانت قريبة نوعا ما من نتائج دراسة أجريت في أبريل 2017 لطيف المجرة النشطة NGC5506 [18].

الملحق

أنجز هذا العمل من يوم علمي في الفيزياء الفلكية في جامعة المسيلة تحت إشراف الأستاذة د.قالي سهام و الأستاذ عبد الرحمان زغبى من جامعة ميشغن (و.م.أ) .
حيث شاركنا بهذا العمل على شكل Poster في المؤتمر الرابع في الجزائر للفيزياء الفلكية 2017 بجامعة عباس الغرور بخنشلة .

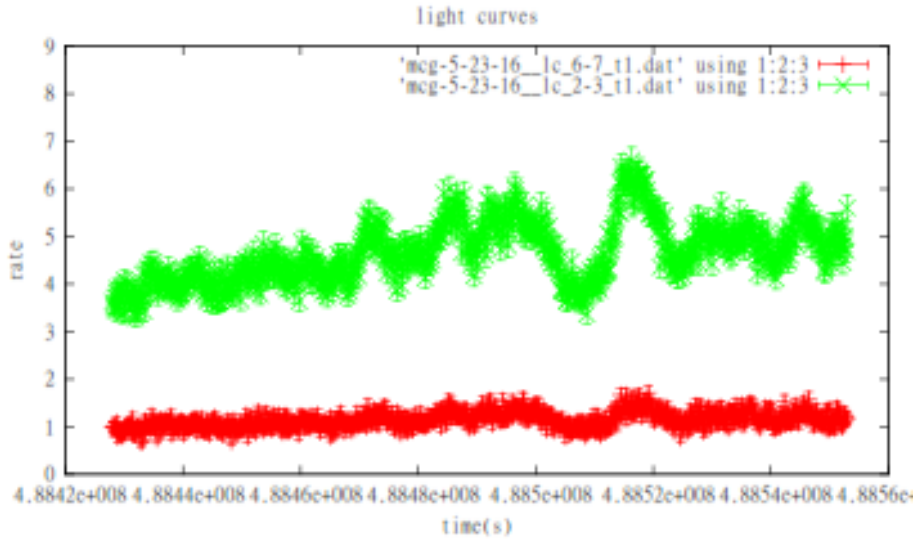
في هذا العمل استخدمنا بيانات من المرصد NuSTAR لدراسة خصائص الثقب الأسود ، حيث نحسب الفارق الزمني بين الانبعاث المباشر Direct emission و الانبعاث المنعكس reflected emission للأشعة السينية المنبعثة من قرص التضخم لثقب اسود فائق الضخامة للمجرة MGC 5-23-16 .

تصنف المجرة MGC 5-23-16 في مجرات Seyfert [17] حيث تحوي على ثقب اسود فائق الضخامة ذو كتلة $5.10^6 M_{\odot}$ ، وانزياح نحو الأحمر $z=0.0085$ ($D \sim 39.5$ Mpc).

نحاول معرفة ما إذا كان الانبعاث المنعكس يتأخر فيما يتعلق بالانبعاثات المباشرة ، حيث ندرس منحنيات الضوء في الطاقات 2-3 keV للانبعاث المنعكسة و 6-7 keV للانبعاث المباشرة .

• حساب فارق الزمن بين الانبعاثين

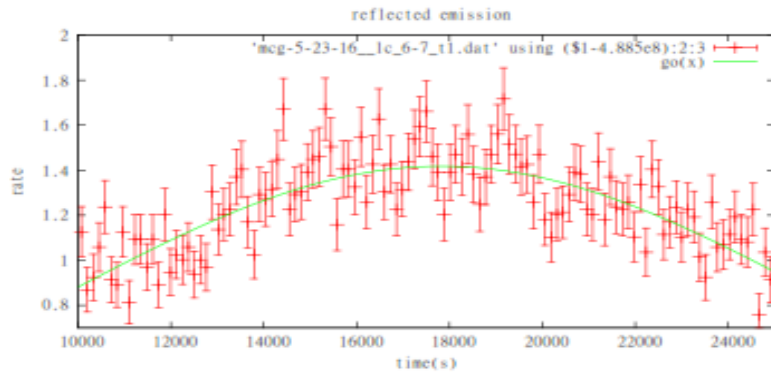
لدينا منحنيات الضوء الخاصة بالانبعاث المباشر و المنعكس في الشكل 1 ، لكي نجد فارق الزمن بين الانبعاثين علينا ملاءمة المنحنيات بالدالة Gaussian ، ومقارنة فاصلة مركز منحنى الضوء لكل انبعاث ، حيث نفصل المنحنى المناسب للدالة Gaussian عن المنحنى الكامل للحصول على احسن ملاءمة الموضحة في الشكل 2 و الشكل 3 .



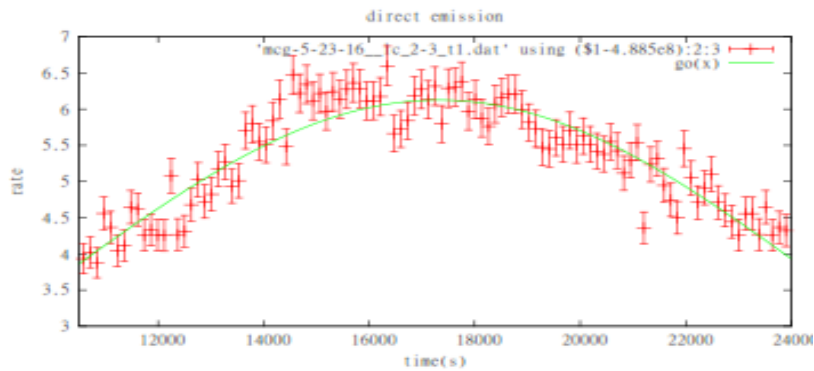
الشكل 1 : منحنيات الضوء للمجرة MGC 5-23-16 حيث 2-3 keV (الخط الأخضر) و 6-7 keV (الخط الأحمر)

حيث الدالة Gaussian تعطى بالعلاقة :

$$f(x) = Norm e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma^2}}$$



الشكل 2: ملاءمة خط الانبعاث المنعكس 2-3 keV



الشكل 3: ملاءمة خط الانبعاث المباشر 6-7 keV

الجدول :افضل ملائمة للقيم (Best fit parameter)

المعاملات	الإصدار المباشر (2-3 keV)	الإصدار المنعكس (6-7 keV)
Norm	6.12545 +/- 0.04902	1.41798 +/- 0.02043
x_m	17319.4 +/- 76.5	17819.2 +/- 158.6
σ	7099.03 +/- 155.5	8012.78 +/- 324.2

و بالمقارنة بين مراكز منحنيي الضوء :

$$x_m (\text{direct emission}) = 17319.4 \mp 76.51 \text{ (s)}$$

$$x_m (\text{reflected emission}) = 17819.2 \mp 158.6 \text{ (s)}$$

فارق الزمن بينهما هو :

$$T = 499.88 \mp 176.1 \text{ s}$$

يمكن حساب المسافة بين البلازما قرب الثقب الأسود و قرص التضخم من فارق الزمن المحسوب سابقا ، وهذه المسافة عادة ما تتمثل في نصف قطر قرص التضخم .

$$d = c * T$$

$$C : \text{سرعة الضوء} (C=3*10^8 \text{ m/s})$$

$$d = 1.5*10^8 \mp 5.3*10^7 \text{ Km}$$

نضع $1\text{Ly}=9.5*10^{12} \text{ Km}$ لتحويل المسافة d من الكيلومتر إلى وحدة جديدة وهي السنة الضوئية

$$d = 1.6*10^{-5} \mp 5.6*10^{-6} \text{ Ly (light year)}$$

نحسب المسافة بنصف القطر الجاذبي Rg المتمثل في العبارة :

$$Rg = \frac{GM}{c^2} \text{ gravitational radius}$$

$$G : \text{ثابت الجذب العام} (G=6.67*10^{-11} \text{ m}^3\text{Kg}^{-1}\text{s}^{-2})$$

$$M : \text{كتلة الثقب الأسود} (M=5*10^6 M_{\odot})$$

$$M_{\odot} : \text{كتلة الشمس} (M_{\odot} = 2*10^{30} \text{ Kg})$$

$$Rg = 7.4*10^6 \text{ Km}$$

$$Rg = 7.8*10^7 \text{ Ly}$$

بوضع Rg كوحدة أي $1Rg = 7.4 \times 10^6 \text{ Km}$ ، نستطيع إيجاد المسافة بوحدة نصف قطر الجاذبي

$$d = 20.3 \mp 7.2 Rg$$

• الخاتمة

سمح لنا فارق الزمن بين الانبعاث المباشر Direct emission و الانبعاث المنعكس reflected emission من إيجاد نصف قطر قرص التضخم لثقب اسود فائق الكتلة للمجرة MCG-5-23-16 في

حوالي $20.3 \mp 7.2 Rg$

الخاتمة

لقد تطرقنا في هذه المذكرة إلى دراسة فيزياء الثقوب السوداء في النظم الثنائية للأشعة السينية و في مراكز المجرات بفضل أقراص التضخم التي تحيط بالثقب ، حيث تعتبر المجرات النشطة AGN مصدر لدراسة الثقوب السوداء بفضل إصدارها لأشعة سينية كثيفة من مركزها تحديدا من قرص التضخم .

كما قمنا بدراسة طيف في مجال الأشعة السينية للمجرة النشطة NGC5506 ببرنامج تحليل الأطياف XSPEC عن طريق ملاءمة منحنى الطيف بنماذج فيزيائية تعكس خصائص مصدر الأشعة السينية، و استخرجنا بيانات طيف هذه المجرة من مرصد XMM Newton، حيث وجدنا أن هناك إشعاعين آتيان من المنطقة القريبة للثقب الأسود حيث الإشعاع المباشر يصدر عن تفاعل Compton المعكوس في البلازما لارتفاع درجة حرارتها ، و الإشعاع المنعكس ناتج عن انعكاس الإشعاع المباشر على المواد الموجودة في قرص التضخم الذي يعطينا نسبة وفرة الحديد و زاوية ميلان القرص 41^0 ، وتظهر الأشعة امتصاص كهروضوئي من قبل ذرات الهيدروجين بحصولنا على قيمة كثافة الهيدروجين $N_H=3.5*10^{22} \text{ cm}^{-2}$.

كما قمنا بحساب نصف قطر قرص التضخم لثقب اسود فائق الكتلة للمجرة MCG-5-23-16 بحساب الفارق الزمني لمنحني الضوء للإشعاع المباشر Direct emission والإشعاع المنعكس reflected emission للأشعة السينية المنبعثة من قرص التضخم باستخدامنا بيانات من المرصد NuSTAR .

المراجع

- [1] GRAVITY An Introduction to Einstein's General Relativity , James B. Hartle , University California, Santa Barbara,2003
- [2] كتاب الكون والثقوب السوداء ، رؤوف وصفي، سلسلة عالم المعرفة 1979
- [3] بوحفص فارس ، مذكرة ماستر ' مصدر التغيرات الطيفية المرصودة في طيف الأشعة السينية المنبعثة من الثقوب السوداء ' ، جامعة المسيلة ، 2015 .
- [4] R. Penrose. Gravitational collapse: The role of general relativity. General Relativity and Gravitation, 2002.
- [5] Nuclear Emission in Spiral Nebulae, Seyfert Carl K, Astrophysical Journal, vol. 97, 01/1943
- [6] X-ray spectral properties of Seyfert galaxies and the unification scheme, V. Singh, Astronomy & Astrophysics, Volume 532, 08/2011
- [7] Broad iron lines in Active Galactic Nuclei, A.C.Fabian, The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 112 , 09/2000
- [8] XSPEC manual: An X-Ray Spectral Fitting Package Users' Guide for version 12.9.1, Jan 2017
- [9] <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec>
- [10] XSPEC: The First Ten Years , K. A. Arnaud, Astronomical Data Analysis, Software and Systems Vol. 101, 1996

[11] Spectral analysis of the cooling phase of an X-ray superburst in 4U 1636–53 .University of Groningen Bachelor Research Project , Gerjon Mensinga, April 11, 2012

[12] lecture (3) Interaction of high energy photons with matter – LUTH, A. Zech (<https://luth.obspm.fr/~luthier/zech/teaching>), 2009

[13] X-Ray Reflected Spectra from Accretion Disk Models. III. A Complete Grid of Ionized Reflection Calculations, J. Garc'ia , The Astrophysical Journal, Volume 768, 05/2013

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

[15] NASA's NuSTAR Helps Solve Riddle of Black Hole Spin , NASA. 27 February 2013

[16] The hard X-ray spectrum of NGC 5506 as seen by NuSTAR, G. Matt et al , Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 447, 03/2015

[17] Observations of MCG–5–23–16 with Suzaku, XMM–Newton and NuSTAR: Disk Tomography and Compton Hump Reverberation, A. Zoghbi et al , The Astrophysical Journal, Volume 789, 07/2014

[18] Multi-epoch analysis of the X-ray spectrum of the active galactic nucleus in NGC 5506, Shangyu Sun et al , eprint arXiv:1704.03716, 04/2017

ملخص

في هذا العمل ، درسنا طيف القدرة في مجال الأشعة السينية للمجرة النشطة NGC5506 ، هذا الطيف يتكون من انبعثين ، انبعث مباشر للأشعة السينية و انبعث منعكس .أولا استخرجنا بيانات الطيف من مسبار XMM Newton ثم قمنا بملاءمة الطيف بنماذج رياضية . و في النهاية استعملنا نماذج فيزيائية لتحسين قيمة الملاءمة والحصول على معاملات فيزيائية مثل نسبة الحديد و زاوية ميلان القرص عن الأفق و مؤشر الطيف...الخ .

Abstract

In this work, we studied the spectrum of the active galactic nuclei NGC5506. This spectrum has two components, the direct X-rays emission and the reflected X ray emission. We first extracted the spectrum from XMM–Newton satellite data. Then we fitted the spectrum with mathematical models. And finally, we used physical models to improve the fit, and obtain the values of physical parameters as inclination, Iron abundance, photon index....etc

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié le spectre du noyau actif de galaxie NGC5506. Ce spectre se compose d'un rayonnement X direct et d'un rayonnement X réfléchi. Nous avons commencé par extraire le spectre à partir des données du satellite XMM–Newton. Nous avons ensuite 'fitter' ce spectre en utilisant différents modèles mathématiques. Et enfin, nous avons utilisé des modèles physiques pour améliorer ce 'fit', et connaître les valeurs des différentes caractéristiques physiques, telle que l'inclinaison, le taux de Fer dans le disque d'accrétion, l'index de photon dans l'émission direct...etc