

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



ميدان: علوم المادة
فرع: الفيزياء
تخصص: فيزياء الجسيمات عالية الطاقة

كلية العلوم
قسم الفيزياء
رقم:

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالب: ميمون يحي

تحت عنوان

دراسة التغيرات الزمنية لطيف المجرة النشطة NGC4151

تمت المناقشة يوم / / 2017 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا	جامعة محمد بوضياف بالمسيلة	أ.محاضر ب	أ. م. عبود
مشرفا و مقررا	جامعة محمد بوضياف بالمسيلة	أ.محاضر ب	أ. ق. سهام
مناقشا	جامعة محمد بوضياف بالمسيلة	أ.مساعد أ	أ. ب. صليحة

السنة الجامعية: 2017/2016

شكر و عرفان

الحمد لله حمدا كثيرا .. الحمد لله ما غرد بلبل.. و صدح وما اهتدى قلب وانشرح.. وما عم فينا سرور وفرح.. وحمدا لله على كرمه أن أمدنا بموفور الصحة والعافية ووقفنا لانجاز هذا العمل .

مصداقا لقول رسول الله صلى الله عليه وسلم " من لم يشكر الناس لم يشكر الله " فانه من باب الشكر و الامتان والعرفان أتوجه بجزيل الشكر وخالص التقدير إلى الأستاذة " قالي سهام " وتفضلها بطرح فكرة هذا البحث و الإشراف عليه حتى النهاية . فكانت لنا نعم المعين والمرشد . حفظك الله ورعاك .

والى أساتذة اللجنة المناقشة : الأستاذة مطاطلة عبود والأستاذة بسكري صليحة لقبولهم مناقشة مذكرتي البسيطة .

والى كل أساتذة قسم الفيزياء عامة وأساتذة قسم الفيزياء النظرية خاصة لكم مني جزيل الشكر واصدق عبارات التقدير لكم مني انتم يا من كنتم نبراس طريقنا من اجل وصولنا إلى ما نحن عليه اليوم .

تحية معطرة إلى الأستاذين جمال ميموني و نور الدين مباركي من جامعة قسنطينة على تشجيعهم لي على خوض غمار البحث في هذا الموضوع ، و إلى الأستاذ عبد الرحمن زغي بجامعة Michigan بالولايات المتحدة الأمريكية .

كما لا يفوتني توجيه تحياتي إلى كل الأستاذة الذين كان لنا الشرف بصحبتهم خلال فعاليات المؤتمر الدولي الرابع لعلم الفلك بالجزائر 2017 . و اخص بالذكر الأستاذ ناصر بوزياني من معهد "CRAAG"

والى الأستاذ الصديق " C.A. Wuensche " من البرازيل .

والى كل من تتلمذت على يده طوال مشواري الدارسي

الإهداء

إلى من ربتني وليدًا.. وسقتني من حنانها أهديها كلماتي

.. لحنًا .. و سلاما .. إلى أُمي شجرتي التي لا تدبّل حفظها الله ورعاها

إليك أبي الحبيب إلى قدوتي الأولى ، ونبراسي الذي ينير درسي... إلى من رفعت راسي عاليًا افتخارًا به

إليك ابعث باقات حيي واحترامي وعبارات نابغة من قلبي

إلى بلسم حياتي إخوتي : سمية عصام محمد زكرياء وروح أخي سعد رحمه الله

إلى المدللة عفاف حرود وفقك الله وبلغك مرادك

سأظل أذكركم.. إخوة ومحبة.. أنتم في الفؤاد مشاعل الإيمان.. سأظل أذكركم.. بعدد مجرات الكون ..

فمحبتي فيض من الوجدان.. فحبكم في الله ورقة مسطرة على قلبي.. أحملها معي أينما سرت..

فيها نقشت علاقة أبدية.. تنتهي مدتها.. بفنائني من على وجه الأرض.

نعم عن زملائي بقسم الفيزياء أتحدث .

إلى أصحاب المنزر الأبيض زملاء مهنة التعليم بمتوسطة المدخل الجنوبي بسيدي عامر رزقكم الله موفور

الصحة والعافية على تبليغ الرسالة .

صغار اينشتاين بمتوسطة المدخل الجنوبي بسيدي عامر تلاميذ السنة أولى متوسط دفعة 2016 . 2017

إهداء خاص وغالي لكم مني يا من كانت دعواتكم سندا لي في السر والعلن .

و إلى كل من يعرفني من بعيد أو قريب حفظكم الله ورعاكم

نلتقي في العلا بإذن الله .

الفهرس

مقدمة ص1

الفصل الأول : الثقوب السوداء لغز الكون المثير

مدخل إلى النسبية العامة ص4

الثقوب السوداء في علم الفيزياء الفلكية..... ص10

المجرات ذات الأنوية النشطة ص21

مجرات سيفرت **Seyfert galaxies** ص23

الفصل الثاني مسابير الأشعة السينية وطرق التحليل

تحويلات فوري ص26

طيف التقاطع والتأخر الزمني ص29

طيف التأخر بدلالة التردد ص31

طيف التردد بدلالة الطاقة ص34

مسابير رصد الأشعة السينية ص36

لغة البرمجة بايثون Python..... ص39

الفصل الثالث : دراسة التغيرات الزمنية لطيف المجرة NGC4151

المجرة **NGC4151** ص41

حساب التأخر الزمني ص42

تفسير التأخر الزمني والمعنى الفيزيائي ص48

الملحق ص50

خاتمة ص57

المراجع ص59

مقدمة

تُحظى المجرات ذات الأنوية النشطة بالعديد من الدراسات في مجال الفيزياء الفلكية "Astrophysics"، وهذا من خلال رصد الانبعاث الصادرة من أنويتها وهذا من خلال مسابير خاصة بذلك سنهتم في مذكرتنا بدراسة نوع من المجرات ذات الأنوية النشطة وهي مجرات سيفرت "Seyfert galaxies" وبالتحديد المجرة النشطة NGC4151، والتي حظيت ولا زالت تحظى بالعديد من الدراسات من اجل استخلاص أهم المعلومات حول مجرات سيفرت.

هدف عملنا من خلال هذه المذكرة هو دراسة التغيرات الزمنية لطيف المجرة NGC4151 في المجال الطاقوي $(2 - 10) keV$ ومعرفة الأسباب الفيزيائية التي أدت إلى هذا التأخر وهذا بالاعتماد على البيانات التي تم رصدها بواسطة المسبار أكس أم أم نيوتن. (XMM – Newton)

ففي الفصل الأول: قمنا بتقسيمه إلى ثلاث أقسام حيث تطرقنا في القسم الأول إلى تذكير بمعادلات اينشتاين والتي كانت اللبنة الأولى لهذا التطور الذي تشهده الفيزياء النظرية حاليا بالإضافة إلى أهم حل شهدته هذه المعادلات والذي أدى إلى ظهور الثقوب السوداء ألا وهو حل كارل شوارتزشيلد والذي يصف المراحل الأخيرة لانحيار نجم كروي وما هي توابع هذا الانحيار. ثم تطرقنا إلى تصنيف الثقوب السوداء وهذا من خلال الخواص الفيزيائية له. في القسم الثاني سنتطرق إلى الأنظمة الثنائية للثقوب السوداء واستخلاص أهم مميزاتهما وما هي المعايير المستعملة في تصنيف الأنظمة الثنائية. أما في القسم الثالث والأخير: سنتحدث عن المجرات ذات الأنوية النشطة وأنواعها مع التفصيل في المجرات من نوع زيفرت "Seyfert galaxies".

في الفصل الثاني سنتطرق إلى مختلف الأساليب والطرق الرياضية المستعملة في علم الفيزياء الفلكية لتحليل منحنيات الضوء الصادرة عن الثقوب السوداء فائقة الضخامة لأنوية المجرات النشطة، والتي تعد تحويلات فوري من أهمها وهذا لكونها تمكنا من الحصول على بيانات دورية، مع التعرف على مختلف

السبل للحصول على منتجات منحنيات الضوء " طيف القدرة، طيف التقاطع، واستنتاج التأخر الزمني بدلالة التردد تم بدلالة الطاقة .

وفي الفصل الأخير: سنقوم بالتطبيق العملي وإجراء المحاكاة لطيف المجرة النشطة NGC4151 وهذا بالاعتماد على المعطيات للمسبار اكس أم أم نيوتن (XMM – Newton) واستنتاج التأخرات الزمنية بدلالة التردد والطاقة. ومعرفة الظواهر الفيزيائية المسببة لهذا التأخر مع مقارنتها بدراسات سابقة حول نفس العملية.

حل المصادر المستعملة باللغة الانجليزية والفرنسية وكانت الترجمة للغة العربية اجتهادا قاربنا به المعنى نظرا لقلة استعمال المصطلحات التقنية للفيزياء الفلكية بالعربية. في أول استعمال لأي ترجمة سنضع المصطلح باللغة الانجليزية للتوضيح.

الفصل الأول: الشعوب السوداء لغز الكون

1- النسبية العامة

النظرية النسبية هي نظرية نشرها ألبرت اينشتين في عام 1915، وهي تمثل الوصف الحالي والدقيق للجاذبية في الفيزياء النظرية الحديثة، كما أنها تعتبر توحيداً لنظرية النسبية الخاصة ونظرية الجاذبية الكلاسيكية لنيوتن، وهي تصف الجاذبية كخاصية مميزة لهندسة الزمكان. كما أنها أضافت العديد من المفاهيم والأفكار لم تكن موجودة من قبل من خلال أن الفضاء يجد له تقعر " انحناء " تحت تأثير الكتلة. وهذا ما يعني أن الكتلة تحدث تشوها للمستويات المستقيمة الموجودة في الفضاء [1] .

1-1 معادلات اينشتاين

إن معادلات اينشتاين (*Einstein's equation*) هي معادلات غير خطية ومن الصعب حلها، وقد استخدم اينشتاين طرق تقريبية للخروج بالنتائج التي تنبأ بها. وأول حل للمعادلات ظهر للعلن كان في بداية 1916 حيث وجد عالم الفلك كارل شوارتزشيلد (*Karl Schwarzschild*) الحل التام لمعادلات اينشتاين ودعيت بمتريّة شوارتزشيلد (*Schwarzschild metric*) . وفي هذا الحل يتم وصف المراحل الأخيرة من انهيار الكتلة لنجم كروي الشكل تحت تأثير الجاذبية، والتي أدت إلى ظهور الثقوب السوداء . وكانت الخطوة أيضاً في تعميم شوارتزشيلد إلى الأجسام المشحونة كهربائياً والتي أسفرت عن متريّة ريسنر نوردستروم (*Reissner - Nordstrom metric*) وهذه المتريّة تصف الثقوب السوداء المشحونة. [2] معادلات اينشتاين للمجال هي مجموعة عشر معادلات في نظرية النسبية العامة، والتي تصف أساساً تأثير الكتلة على نسيج الزمكان. نشرت في سنة 1915 على أنها معادلة موتر (*Tenseur*)، حيث تعادل معادلات اينشتاين للمجال انحناء الزمكان (اينشتاين موتر) (*Einstein tensor*) مع الطاقة وكمية الحركة (موتر الإجهاد - الطاقة - *The energy - momentum tensor*). بالمطابقة مع معادلات ماكسويل للكهرودمغناطيسية، تستعمل معادلات اينشتاين للمجال لإيجاد الهندسة الفضائية للزمكان من خلال وجود الكتلة والطاقة، أي أنها تعطي الموتر المتري للزمكان بدلالة ترتيب كل من الإجهاد والطاقة في الزمكان .

تسمح العلاقة بين الموتر المتري وموتر اينشتاين بكتابة معادلات اينشتاين كمجموعة من معادلات تفاضلية لاختطية، عند استخدامها بهذه الطريقة فحلول معادلات اينشتاين تمثل مركبات الموتر المتري. بالإضافة فان معادلات اينشتاين تحقق معادلات انحفاظ الكتلة والطاقة ، $(Energy - momontum conservation)$ و إذا كان المجال الثقالي ضعيفا والسرعات اقل بكثير من سرعة الضوء فإنها تؤول إلى معادلات نيوتن الكلاسيكية [2] .

1-1-1 العلاقات الرياضية لمعادلات حقول اينشتاين

إن ابط شكل لمعادلات حقل اينشتاين هي:

$$R_{\mu\vartheta} - \frac{1}{2} g^{\mu\vartheta} R + g_{\mu\vartheta} \Lambda = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\vartheta} \quad (1.1)$$

حيث:

$R_{\mu\vartheta}$ تمثل انحناء ريتشي، R إنحناء سلمي، $g^{\mu\vartheta}$ موتر المترية، Λ ثابت كوني، G ثابت الجذب العام، c سرعة الضوء، $T_{\mu\vartheta}$ موتر الاجهاد والطاقة .

حيث إن كلا من الموتر $g^{\mu\vartheta}$ و $R_{\mu\vartheta}$ هم موتران متناضران .

$$\nabla^{\mu} T_{\mu\vartheta} = 0$$

موتر الاندفاع يحقق معادلة الانحفاظ

من أجل $T_{\mu\vartheta} = 0$ ن سجل غياب تأثير المادة في نسيج الزمكان، ومن اجل نسيج ذو أبعاد اقل من 3 نجد أن موتر ريتشي (*Rcci tensor*) يكون معدوما تماما . مما يجعل نسيج الزمكان غير منحنى " نسيج مسطح"، لا وجود لتأثير الكتلة [3] .

معادلات اينشتاين للحقل هي معادلة تربط بين مجموعة من الموترات من رتبة (4×4) تماثلية، حيث انه لكل موتر توجد 10 مركبات مستقلة، ومن خلال إمكانية حرية الاختيار لإحداثيات الزمكان الأربعة، تؤول المعادلات المستقلة إلى 6 معادلات . بالرغم من المنظر البسيط الذي تبدو عليه المعادلات، إلا أنها

معقدة في الواقع. إذا علم توزيع معين للمادة والطاقة على هيئة موتر (إجهاد - طاقة) فان معادلات اينشتاين للحقل تفهم على أنها معادلتان لموتر المترية $g_{\mu\nu}$.

يمكن كتابة المعادلات باستخدام تعريف موتر اينشتاين:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} R \quad (2.1)$$

وهو موتر من الرتبة الثانية بشكل دالة في المترية، وعليه تصبح معادلات اينشتاين للحقل على الشكل:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \Lambda \quad (3.1)$$

باستعمال النظام الطبيعي للوحدات $G = c = 1$ يمكن صياغة المعادلة على الشكل التالي:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \Lambda \quad (4.1)$$

الحد الأيسر من المعادلة يمثل تحذب نسيج الزمكان، بينما الحد الأيمن يمثل محتوى الطاقة - المادة في نسيج الزمكان. بالتالي يمكن تفسير معادلات اينشتاين للحقل كمجموعة من المعادلات تملي علينا كيفية تحذب الزمكان بمحتوي المادة - الكتلة في الكون، هذه المعادلات بالإضافة إلى المعادلات الجيوديسية تشكل نواة الصيغ الرياضية في النسبية العامة [2،1]

2-1 الثقوب السوداء و النسبية العامة:

1-2-1 متريّة شوارتزشيلد (The schwarzschild metric)

من أجل متريّة صامدة بتحويل الإحداثيات، نذكر ابسط مثال عن التحويلات الصامدة:

$$X^1 \rightarrow X^1 + a$$

هندسيا هذا الصمود يقابله (killing vector) $\varepsilon = (0,1,0,0)$

نتائج هذا الصمود هي التي توجهنا في دراسة الأشعة الخاصة بالفضاء، خاصة أشعة (killing vector). في التناظر الكروي يمكننا البرهان على أن المركبة المكانية للموتر متناسبة مع $g^{\mu\nu} \propto \delta_{ij}$ ويمكن أن نكتب المركبة المكانية للمترية ds^2 على الشكل [3]:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (5.1)$$

المركبات المتداخلة من الشكل $(cross - term)dxdy$ متوافقة مع التناظر المركزي وبالتحويل للإحداثيات الكروية نجد العلاقة التالية:

$$dx^2 + dy^2 + dz^2 = r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) = r^2 d\Omega^2 \quad (6.1)$$

وعليه الصيغة العامة لمترية متفردة مع التناظر المركزي الكروي هي عبارة عن دالة للإحداثيتين a و r

$$ds^2 = g_{aa}(a, r)da^2 + 2g_{ar}dadr - g_{rr}(a, r)dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (7.1)$$

من خلال خواص التناظر الكروي فإن المعاملات (a, θ) (a, ϕ) (r, θ) (r, ϕ) تلغى .

وعليه نختصر دراستنا على الإحداثيات (a, r) ، ونضع تحويلاً للإحداثية a على النحو التالي: $a \rightarrow$

$$t(a, r)$$

$$dt = \frac{\partial t}{\partial a} da + \frac{\partial t}{\partial r} dr \quad (8.1)$$

وعليه نتحصل على الصيغة الجديدة للمترية الخاصة بتناظر كروي:

$$ds^2 = A(t, r)dt^2 - B(t, r)dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (9.1)$$

هذه الأخيرة تعطينا لنا 3 معادلات ب 3 دوال مجهولة وهي A, B, t وعليه الصيغة العامة للمترية في

تناظر كروي هي:

$$ds^2 = e^{2\alpha(r,t)} dt^2 - e^{2\beta(r,t)} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (10.1)$$

من خلال الصيغة الأخيرة للمترية في تناظر كروي يمكننا البرهان على أن مركبات موتر رتشي كلها معدومة:

$$R_{tr} = \frac{2}{r} \partial_t \beta = 0 \quad (11.1)$$

$$R_{\theta\theta} = e^{-2\beta} [r(\partial_r \beta - \partial_r \alpha) - 1] + 1 = 0 \quad (12.1)$$

يمكننا استنتاج أن β هو متغير بالنسبة ل r فقط، بالإضافة الى ذلك نجد ان:

$$\partial_t R_{\theta\theta} = 0 \implies \partial_t \partial_r \alpha = 0 \quad (13.1)$$

$$\alpha(r, t) = f(r) + g(t) \quad (14.1)$$

يمكن كتابة المعادلة على الشكل:

$$ds^2 = e^{2f(r)} e^{2g(t)} dt^2 - e^{2\beta(r)} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (15.1)$$

من خلال تحويل المتغير للزمن $t \rightarrow t'$ على النحو التالي:

$$dt' = e^{g(t)} dt \quad (16.1)$$

نجد:

$$ds^2 = e^{2\alpha(r)} dt'^2 - e^{2\beta(r)} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (17.1)$$

1-2-2 نظرية بريكهوف (Brikkhoff's theorem):

في تناظر كروي، المترية التي تصف الفضاء هي مترية مستقرة " لا تتعلق بالزمن "، مما يستلزم وجود *vectorkilling*. في تناظر مركزي توزيع المادة لا يصدر أي أمواج جاذبية، نفس الأمر بالنسبة إلى توزيع الشحن الكهربائية لا تصدر أي أشعة كهرومغناطيسية. [3]

وعليه من خلال العلاقة التالية بين كل من R_{rr} و R_{tt}

$$e^{2(\beta-\alpha)}R_{tt} - R_{rr} = \frac{2}{r}(\partial_r\alpha - \partial_r\beta) = 0 \quad (18.1)$$

$$\alpha = \beta + cste \text{ و}$$

$$R_{\theta\theta} = 0$$

في النهاية

نجد:

$$e^{2\alpha}(2r\partial_r\alpha + 1) = 1 \Rightarrow \partial_r(re^{2\alpha}) = 1 \Rightarrow e^{2\alpha} = 1 + \frac{C}{r} \quad (19.1)$$

وعليه الصيغة النهائية لمترية في تناظر كروي هي [1]:

$$ds^2 = \left(1 + \frac{C}{r}\right) dt^2 - \left(1 + \frac{C}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (20.1)$$

من أجل تعيين الثابت نستعمل تقريبات الحقول الضعيفة:

$$g_{tt} \simeq 1 + 2\varphi(r) = 1 - \frac{2GM}{r} \quad (21.1)$$

وعليه الصيغة النهائية لمترية شوارتز شيلد (*The schwarzschild metric*) في تناظر كروي هي:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (21.1)$$

هذه المترية للتناظر الكروي قدمها العالم دافيت هيلبرت ((David Hilbert (1862 – 1943) لكن حتى ذلك الوقت لم يكن السلوك الفيزيائي لأفق الحدث واضحاً بنفس الوضوح الذي هو عليه اليوم. بالإضافة إلى ذلك فإن نصف قطر شوارتزشيلد لنجم كشمسنا هو $R_s = 3KM$ كان صغيراً جداً ليكون لديه معنى فيزيائي مثلما هو عليه الآن.

1-3 الثقوب السوداء

الثقوب السوداء هي منطقة في نسيج الزمكان، تتواجد في كوننا الفسيح تتميز بجاذبية فائقة لا يمكن لأي جسم أو إشعاع الهروب أو الإفلات من هذه الجاذبية الفائقة للثقوب السوداء. دراسة الثقوب السوداء ومعرفة طبيعتها وخواصها من أكثر الأمور التي لا تزال تجلب انتباه علماء الفلك قديماً وحديثاً. في هذا البحث سوف نتكلم عن تطور قصة الثقوب السوداء، وكيفية تشكلها انطلاقاً من موت النجوم، كما سنتطرق إلى معايير تصنيف الثقوب السوداء اعتماداً عن الخواص الفيزيائية للثقب الأسود. وفي الأخير سنتكلم عن علم الفيزياء الفلكية والذي يعتمد أساساً على دراسة الانبعاث والإشعاعات الصادرة عن الثقوب السوداء [4] .

1-3-1 مقدمة للثقوب السوداء

تمهيد

مصطلح الثقب الأسود (*Black holes*) ظهر انطلاقاً من حل شوارتزشيلد لمعادلات النسبية العامة لاينشتين سنة 1916م أي بسنة مباشرة بعد نشر اينشتين لمعادلات النسبية العامة والتي اوجد فيها علاقة مباشرة بين تأثير الكتلة وانحناء نسيج الزمكان، حيث أن شوارتزشيلد تنبأ بوجود منطقة في نسيج الزمكان تكون لها جاذبية فائقة لا يمكن حتى لأسرع جسم في الكون وهو الضوء أن يفلت منها [5] .

قبل معرفة الثقوب بأكثر تفصيل سنتحدث عن بعض تعاريف وخواص الثقوب السوداء

1-3-2 الثقب الأسود وافق الحدث:

نعرف الثقوب السوداء انطلاقاً من النسبية العامة على أنها منطقة في نسيج الزمكان لها جاذبية فائقة لا يمكن للمادة ولا الإشعاع الإفلات منها وحتى الضوء المرئي نفسه يقع في مصيدة جاذبية هذا الجسم. فيتعذر عليه الانطلاق في الفضاء وهذا ما يكسب هذا الجسم مظهره الداكن " الأسود ". لان هذا الجسم يتلوع كل شيء يقترب منه ولا يسمح للضوء بالخروج منه لذا أطلق عليه الثقب الأسود .

ما يميز الثقوب السوداء عن بقية الأجسام المعروفة في كوننا أن له بنية زمكانية، على عكس الأجرام السماوية والنجوم والكواكب والتي تتميز ببنية مادية، أي أنها تتشكل كلية من المادة. [4]

يعتبر الثقب الأسود من اغرب الظواهر الفلكية في الكون كله، ولقد أوضح علماء الفلك أن الثقب الأسود هو مساحة في نسيج الزمكان انهارت المادة فيها حيث لا يمكن للضوء أو أي مادة أخرى أو إشعاع الإفلات منها، ولكن هذه المواد لا تشغل كل الحجم داخل الثقب الأسود ولعله من الواضح أن القوة الجاذبية للمواد المنهارة هي التي أدت إلى نشوء الثقب الأسود، وطالما دخلت المادة النجمية داخل أفق الحدث لن تؤثر مطلقاً. فما هو أفق الحدث ؟

في أبسط الحالات نعرف أفق الحدث على انه: تلك المساحة التي تسمح للضوء بالدخول منها ولكن دون إمكانية الإفلات منها، كما يمكننا استنتاج نصف قطر أفق الحدث لأبسط الأنواع من الثقوب السوداء والتي يمكن وصفها بمتريّة شوارتزشيلد $r = R_s = \frac{2GM}{c^2}$ ويعرف بنصف قطر

شوارتزشيلد (*Schwarzschild radius*). بحيث يمكن اعتبارها كرة نصف قطرها الاحداثي R_s

[5].

1-3-3 نبذة تاريخية عن الثقوب السوداء

ظهرت قصة الثقوب السوداء مع نشر اينشتين للصيغة النهائية لمعادلات النسبية العامة في سنة 1915م، فظهر حل العالم شوارتزشيلد للعلن في سنة م 1916 مباشرة، والذي تنبأ بوجود الثقوب السوداء، ولكن قبل ظهور معادلات النسبية العامة كان هناك من تنبأ بوجود هذا النوع من الأجسام، وهذا اعتمادا على التعريف الكلاسيكي للجاذبية أي معادلات " اسحق نيوتن "، وتمثل في حل لابلاس سنة 1798م (Pierre - Simon Laplace) فقد اعتبر لابلاس " الضوء سيلا من الجزيئات الدقيقة " وباستخدام نظرية الجاذبية لنيوتن قال: " بأنه إذا وجد جسم بلغ من كثافته وكتلته حدا معيناً، فإنه سيصبح غير مرئي ولن يتمكن حتى الضوء نفسه من الإفلات منه "

ولتبسيط المفهوم نأخذ المثال التالي:

عند قذف جسم مادي ذو كتلة وكروي الشكل نحو الأعلى، فإن هذا الجسم يكتسب تسارعا عند المغادرة يمكنه من التغلب على جاذبية الأرض، لكن الجاذبية الأرضية سرعان ما تمارس دورها وتعمل على إبطاء سرعة هذا الجسم تحت تأثير الكمون الجاذبي $V = \frac{GMm}{R}$ ، مما يؤدي إلى عودة الجسم نحو موضعه الاصلى وتوقفه عن الحركة .ولكن بتكرار العملية وبقوة أكبر ستكتسب الكرة سرعة معينة تمكنها من الإفلات من قبضة الجاذبية الأرضية، ونعرف هذه السرعة بسرعة الإفلات:

ويمكن استنتاج علاقة سرعة الإفلات بكل بساطة وهذا اعتمادا على قوانين نيوتن لوصف حركة جسم مادي:

$$\frac{1}{2}mv_{ex}^2 = \frac{GMm}{R} \quad (22.1)$$

$$v_{ex} = \sqrt{\frac{2GM}{c^2}} \quad (23.1)$$

ما نلاحظه أن هذه السرعة يمكن لها أن تتجاوز سرعة الضوء، ولكن إلا فقط إذا كان كل من نصف القطر وكتلة الجسم يحققان العلاقة التالية:

$$R < \sqrt{2GM/C^2} \quad (24.1)$$

جسم كما هذا ويحقق العلاقة الأخيرة، يمكن له القدرة على عزل الضوء تماما ولا يمكنه الإفلات منه، وعليه بطبيعة الحال يكون هذا الجسم داكنا . كما يمكننا استنتاج علاقة مباشرة بين نصف قطر شوارتز شيلد وكتلة الثقب الأسود من خلال العلاقة التالية [5] :

$$v_{ex} = \sqrt{2GM/R} = C \Rightarrow R_s = \frac{2GM_{BH}}{M_{\odot}} = 3Km \times \frac{M_{BH}}{M_{\odot}} \quad (25.1)$$

هذه الأفكار توصل إليها كلها من العالمين جون ميتشل (1724 – 1793) *John Michell* وبيار – سيمون لابلاس (1749 – 1793) *Pierre – Simon Laplace* في ضوء الجاذبية النيوتونية، وعلى الرغم من كونها مختلفة عن آراء النسبية العامة لآينشتاين، إلا أن النتائج متشابهة، ألا وهي حصر الضوء ولا يمكنه الإفلات من هذا الحيز المكاني: [4].

بما أن كلا من النظريتين اللتان تصفان الجاذبية " النظرية الكلاسيكية لنيوتن، والنسبية العامة لآينشتاين " تتفقان في نقطة واحدة، إلا وهي أن منشأ الثقوب السوداء يعود إلى انهيار الكتلة، هنا نطرح التساؤل التالي: كيف تنشأ الثقوب السوداء ؟

للإجابة على هذا السؤال وجب علينا أن نستذكر دورة حياة النجوم .

1-4 دورة حياة النجوم:



الشكل 1.1: دورة حياة النجوم من الميلاد إلى الانهيار الجاذبي

النجم هو عبارة عن كرة عملاقة ساخنة من الغازات تتجمع هذه الغازات في الفضاء مع بعضها البعض بسبب جاذبيتها، و عندما تزداد كثافة النجم (بالتالي تزداد جاذبيته فيزداد الضغط) يزيد احتكاك مكوناته بعضها ببعض، فيندمج الهيدروجين لتكوين الهيليوم مع إطلاق طاقة كبيرة.. هذه الطاقة الكبيرة لا يمكن الحصول عليها إلا بتوفر شرطين: وجود ضغط عالي جدا يؤدي إلى تقارب البروتونات من بعضها البعض، ووجود حرارة مرتفعة جدا تعطي البروتونات طاقة حركية هائلة وتدفع احدهما نحو الآخر لكي تقلع تفاعلات الاندماج النووي. [6]

1-4-1 النجم في مرحلة التسلسل الزمني:

خلال (مرحلة التسلسل الزمني) يمر النجم بمرحلة توازن دقيق بين القوى، حيث أن قوى الجاذبية القابعة في مركزه تحاول "جذب الغازات" البعيدة السابحة في حوافه بغية تصغير الحجم الفعلي له، وقوة التفاعل النووي "تفاعل الاندماج" للنجم يعمل عكس قوة الجاذبية حيث يقوم بتسخين غازات النجم فيتمدد حجمها وتزداد سرعتها، مما يؤدي إلى ابتعادها عن مركز النجم. تتوازن الكرة الغازية للنجم تحت تأثير قوتين: قوة الجاذبية التي تشد مادة النجم باجمعها نحو المركز، وقوة الإشعاع الناتج عن الطاقة الهائلة المتحررة عن تفاعلات الاندماج النووي والتي تشتت مادة النجم نحو الخارج. إن التوازن بين هاتين القوتين هو عامل جد أساسي في استقرار النجم. كما يجب أن نعرف انه كلما زادت كتلة النجم كلما

قصرت فترة حياته .. [4] من المعلوم أيضا انه عند حدوث اندماج نووي لانبوية الهيدروجين في النجم فانه تتولد عناصر أثقل من الهيدروجين (الهيليوم، الكربون، إلى غاية الحديد)، وهذا يستوجب توفر درجات حرارة عالية لاستمرار عملية الاندماج، وتشكل العناصر الأثقل من الهيدروجين، وبما أن النجوم في معظم فترات حياتها، تقوم بعملية الاندماج لعنصر الهيدروجين، فانه وبمرور الوقت سيتضاءل هذا المخزون النووي، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارته وضغطه الداخلي، ويضعف إصداره للطاقة، وبهذا يختل الاستقرار الذي كان يميز النجم، وتبقى قوة الجاذبية المسيطرة قي النجم .

فما هو مصير النجم بعد استنفاده لوقوده النووي ؟

1-4-2 النجم في نهاية حياته (العملاق الأحمر)

يصل النجم إلى مرحلة ينضب فيها الهيدروجين من النواة التي تصبح حاوية على الهيليوم فقط، ولكن لاتزال هناك كمية من الهيدروجين حول النواة وفي طبقات النجم الأخرى، لكن هذه الهيدروجين عاجز عن الدخول في تفاعلات اندماج لأنه يفتقد إلى الحرارة والضغط المناسبين، ونتيجة لنقص كمية الهيدروجين في النواة تصبح التفاعلات النووية في نواة النجم بطيئة جدا والطاقة المتولدة أقل بكثير من الكمية المعتادة . مما سيؤدي إلى تغلب قوة الجذب الثقالي وتقلص النواة بتأثير الجاذبية الذاتية . تؤدي الطاقة الناتجة عن التقلص إضافة إلى الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية خارج النواة إلى تحرير طاقة هائلة أكبر بكثير من الطاقة التي كان ينتجها النجم في مرحلة التسلسل الرئيسي، وبالتالي فهي أكبر بكثير من أن تعاكس قوة الجاذبية الذاتية للنجم، وهذا ما يجعل قوة الإشعاع تتغلب على قوة الجاذبية . فيندفع الجزء الخارجي للنجم نحو الخارج متمددا بشكل كبير، ويصبح النجم في هذه المرحلة عملاقا أحمر . ولكن يجب أن نعرف أن النواة لا تتمدد و إنما تتقلص، وتستمر التفاعلات النووية بالحدوث لهذه الفترة [6] .

خلال هذه المرحلة يمكن للنجم أن يرفع درجة حرارته الداخلية إلى درجة يمكن من خلالها للهيليوم أن يندمج وتشكل ذرات كربون ن ما ينتج عنه تحرير قدر كبير من الطاقة، الناتجة عن الفرق في الكتلة . لو

أخذنا على سبيل المثال: شمس نظامنا الشمسي فعند نفاذ وقودها النووي ستتحول إلى عملاق احمر ثم إلى قزم ابيض، يشع ما تبقى لديه من طاقه وإشعاع ضعيفين . في القزم الأبيض تنقلص كتلته تحت تأثير جاذبيته، حتى تتجاوز ذراته وتتلامس، ويبقى هذا الانكماش عند هذا الحد ولا يتعداه . فلماذا لا يستمر القزم الأبيض في الانكماش أكثر من ذلك ؟

إذن ليس كل نجم يستنفذ وقوده النووي يمكن له أن يتحول إلى نجم نيوتروني ثم ثقب اسود، فالذي يحدد نتائج موت هذا النجم هو حجمه وكتله، وتبين النتائج النظرية تركيب النجوم منذ مولده حتى دخولها مرحلة التتابع الرئيسي، ثم مرحلة العملاق الأحمر... وبعدها يتحدد مصير النجم حسب كتلته . هذا ما وضعه العالم شاندراسيكار (*Subrahmanyan Chandrasekhar*)، ومن ثم أطلق عليه حد شاندراسيكار (*Chandrasekhar limit*) [4] هو 1.4 من كتلة الشمس، إذا بلغت كتلة نواة النجم عند انهياره اقل من 1.4 من كتلة الشمس فانه سينتهي في مرحلة الانحلال الالكتروني وسيموت كقزم ابيض وإذا كانت تتراوح هذه الكتلة بين 1.4 و 3.2 من كتلة الشمس فانه سينتهي في حالة الانحلال النيوتروني وسيموت بحالة نجم نيوتروني . أما إذا زادت هذه الكتلة على 3 كتل شمسية فان النجم سيستمر بالانكماش حتى يصبح ثقبا اسودا . إذن ما هو مصير النجم عندما يصل إلى نهاية عمره النووي، وكتلته تتجاوز حد شاندراسيكار .

في هذه الحالة يكون الضغط الداخلي قليلا، ولا يستطيع دعم النجم . لذلك ينهار النجم، وهناك احتمال انه أثناء الانهيار يحدث انفجار هائل يفتت النجم، ويلقي بمعظم كتلته في الفضاء . وما بقي منه يتحول إلى نجم نيوتروني، أي تتكون مادته من النيوترونات فقط، بعد اتحاد الالكترونات والبروتونات مكونة جسيم ذو شحنة معتدلة وهي النيوترون . وقد تم رصد هذه الظاهرة في سديم السرطان . أما الاحتمال الآخر: فهو أن ينهار النجم، انهيارا مطلقا نتيجة للضغط الهائل والجاذبية الفائقة، وعندها ستحتفي الفراغات في الذرات، وتظهر المادة في صورة لا متناهية من الكثافة . ففي الثقوب السوداء تعمل قوة الجاذبية الهائلة على تقليص حجم المادة إلى الصفر لتتركز في مساحة صغيرة جدا ذات خواص

فيزيائية مختلفة عن المعهود، ويدعى ما تبقى من مادة النجم في هذه النقطة بالمتفردة وذلك بسبب خصائصه الفيزيائية الفريدة والمختلفة عما هو معهود في عالم قوانين الفيزياء.

1-5 تصنيف الثقوب السوداء:

إن التصنيف الحالي للثقوب السوداء والذي هو متفق عليه الآن يعود إلى العالم جون، والذي أزال الكثير من الغموض حول الثقوب السوداء من حيث بنيته الداخلية وشكله والحقل المغناطيسي. حيث أن الثقب الأسود يتميز بثلاث خواص مميزة له وهي: الكتلة والعزم الدوراني، والشحنة الكهربائية، فكل نوع من الثقوب السوداء يملك متريّة خاصة به [4]. أي انه من خلال المتريّة يمكن معرفة نوع الثقب الأسود المدروس، ويمكن تصنيف الثقوب السوداء كالتالي:

تصنيف نظري حسب المتريّة:

__ ثقوب سوداء ذات كتلة فقط يمكن وصفها بمتريّة شوارتزشيلد

__ ثقوب سوداء ذات كتلة وعزم دوراني يمكن وصفها بمتريّة كير

__ ثقوب سوداء ذات كتلة مشحونة كهربائياً يمكن وصفها بمتريّة رايسنر - نورد ستروم

__ ثقوب سوداء دوارة ومشحونة كهربائياً يمكن وصفها بمتريّة كير - نيومان

كما يمكن تصنيف الثقوب السوداء اعتماداً على كتلتها:

__ ثقوب سوداء صغيرة حيث تبلغ كتلتها من 0 إلى 0.1 من كتلة الشمس

__ ثقوب سوداء ذات كتل نجمية حيث تبلغ كتلتها من 0.1 إلى 300 من كتلة الشمس

__ ثقوب سوداء متوسطة حيث تبلغ كتلتها من 300 إلى 10^5 من كتلة الشمس

__ ثقوب سوداء فائقة الضخامة حيث تبلغ كتلتها 10^5 إلى 10^{10} من كتلة الشمس

1-6 الثقوب السوداء فائقة الضخامة:

تتواجد الثقوب فائقة الضخامة في مراكز المجرات النشطة، ولكنها تختلف عن بعضها البعض حيث يمكن أن تتواجد منفردة أو على شكل نظم ثنائية، ويتم تصنيف هذه الثقوب عادة على درجة نشاطها، حيث تبلغ كتلتها ما بين 10^6 إلى 10^9 ضعف كتلة الشمس. كما يمكن تصنيف هذه الثقوب على درجة لمعانها خاصة وأنه يغلب عليها الإصدار في مجال الأشعة السينية، $10^{46} \text{ erg s}^{-1}$ و $10^{48} \text{ erg s}^{-1}$.

تقوم هذه الثقوب السوداء بتأيين الغاز بين النجمي المتواجد في مراكز المجرات، وتقوم بإصدار خطوط طيف كهرومغناطيسي بسرعة الضوء في مجال الأشعة السينية [5].

1-7 الثقوب السوداء الثنائية والأشعة السينية

تعتبر كل من الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية أكبر دليل على انبعاث أشعة السينية، حيث أنه أصبح من الممكن ومن السهل تحديد مصدر الأشعة السينية الملتقطة من طرف التليسكوبات إما هي من نجم نيوتروني أو ثقب أسود فائق الضخامة. حيث أن النجوم النيوترونية تكون لها كتلة حدية في حدود 3 من كتلة الشمس، أما الثقوب السوداء الفائقة الضخامة فلها كتلة كبير جدا وهي ما بين 10^6 و 10^9 من كتلة الشمس. وعليه فإن تحديد مصدر أشعة اكس الملتقطة يكون حسب الخواص التالية:

في الثقب الأسود الفائق الضخامة تكون للأشعة الصادرة عن الغاز النجمي المتأين: طاقة بلازما تكون درجة حرارتها من رتبة $T_e \geq 7 \times 10^8 \text{ keV}$ أو $K_e T_e \geq 50 \text{ keV}$ مع العلم أن K_B هو ثابت بولتزمان. أما طاقة البلازما في النجم النيوتروني فتكون طاقته من رتبة 30 keV فعلى سبيل المثال تم رصد أشعة سينية منبعثة من بلازما متאיنة في نجم نيوتروني (4U 0614+091) في حدود $K_e T_e \approx 250 \text{ keV}$ [7].

كما يوجد معيار آخر لتحديد مصدر انبعاث الأشعة السينية وهو عن طريق قياس " كثافة طيف القدرة" PDS حيث أن (PDS) في قرص التراكم لثقب اسود فائق الضخامة يكون رتبة من $50 \text{ Hz} \sim$ بينما في النجوم النيوترونية فهي $50 \text{ Hz} \leq \text{PDS} \leq 500$. كما تم رصد عبور مميز لطيف الأشعة السينية في المجرة (Cygnus X-1 and LMC X-3) مع وجود خطوط مستقيمة. أما في الثقب الأسود للمجرة (GX-339-4) إصدار أشعة سينية ناتج عن انفجار متسلسلة ومنتالية بدور زمني ثابت. التوازن بين الجاذبية والإشعاع في قرص التضخم يحقق العلاقة التقريبية:

$$L_e = 1.5 * 10^{38} \frac{M}{M_{\odot}} \text{ erg s}^{-1}$$

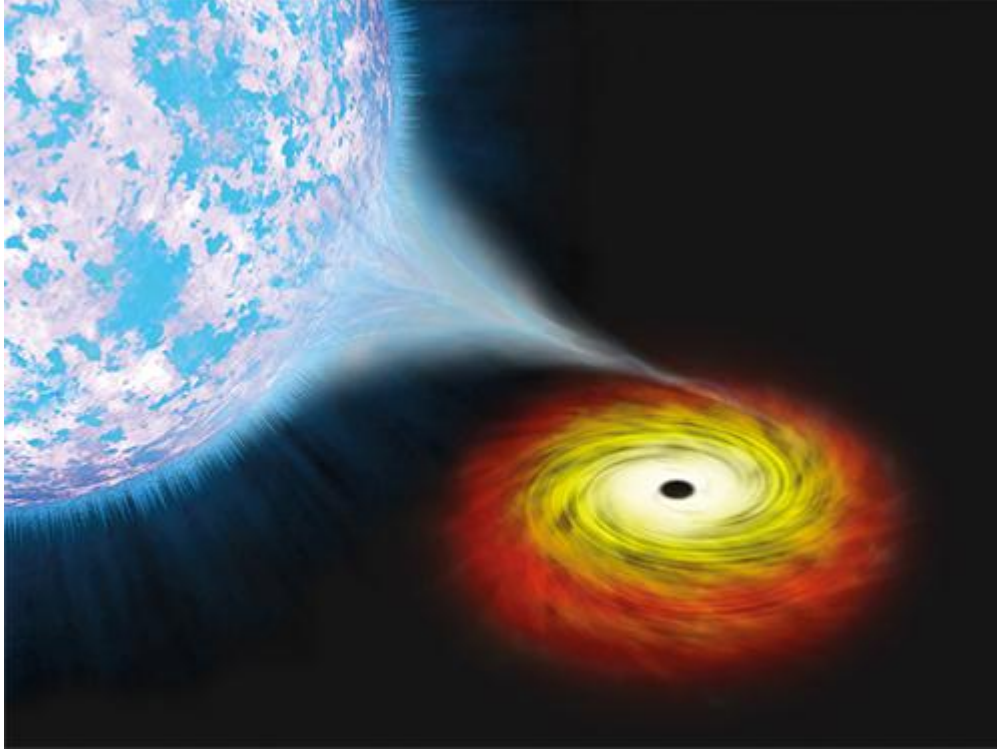
حيث أن M هي كتلة الثقب الأسود، لمعان الثقب الأسود في الإصدارات الواسعة مع كتلة تقارب $100M_{\odot}$ يكون من رتبة $10^{37} \text{ erg s}^{-1}$ [8].

1-7-1 مصادر الأشعة السينية فائقة السطوع

في أواخر السبعينات، اكتشف علماء علم الفلك أجراما تصدر أشعة سينية فائقة السطوع، وبالنظر إلى السطوع الحاد لهذه الأشعة السينية، كان يعتقد أن مصادر هذه الأشعة السينية فائقة السطوع تحتوي على ثقوب سوداء، إلا أن كتلة هذه الثقوب السوداء المغذية لهذه المصادر لا تزال خاضعة لنقاش شديد.

لمعرفة طبيعة عمل هذه الثقوب وجب علينا أن ننظر إليها بطريقة غير مباشرة، أي من خلال دراسة تأثيرها على بيئتها. وإذا كان هناك نجم رقيق يدور حول الثقب الأسود ذي الكتلة النجمية، نستطيع إذا دراسة تأثيره على هذا النجم، إذ أن للثقب الأسود قدرة لسحب المادة من رياح النجم وسطحه. وكلما زادت المادة المسحوبة من النجم (تراكمت) (الشكل 2.1)، مشكلة قرص تراكم، تفقد المادة بعضا من طاقة وضعها الجاذبي على شكل ضوء، أغلبه أشعة سينية. هذه الأنظمة الثنائية للأشعة السينية لا تحتوي على قرص، ولكنها تحتوي أيضا على وسطا بصريا رقيقا (شفافا)، يعتقد انه يتموضع إما فوق أو تحت القرص (على شكل هالة)، أو بين القرص والثقب الأسود (في صورة تيار داخلي ساخن). وكلما

تغير المعدل الذي تنتقل به المادة خلال القرص المزود، تغيرت تبعاً لذلك هندسة النظام، ومن ثم حالة نموه التراكمية. كما يمكن أن تحتوي ثنائية الأشعة السينية أيضاً على نجوم نيوترونية أو ثقوب سوداء فائقة الضخامة، حيث أن درجة لمعان الأنظمة الثنائية للأشعة السينية تتناسب مع كتلة الثقوب السوداء. رغم أن كيفية التكون غير مفهومة في حالة الثقوب السوداء الفائقة [8].



الشكل 2.1: آلية تشكل أقراص التراكم في المجرات ذات الأنوية النشطة

8-1 المجرات ذات الأنوية النشطة:

تمتلك معظم المجرات الكبيرة نجوماً كتلتها تعادل 10^{11} ضعف كتلة الشمس، وغاز ما بين نجمي تقع كتلته بين 10^9 و 10^{11} ضعف كتلة الشمس. لكن الشيء الذي يميزها نوى المجرات النشطة هو وجود ثقب أسود فائقة الضخامة تتراوح كتلته ما بين 10^6 إلى 10^9 ضعف كتلة الشمس. [9]

المجرات الراديوية (**Radio galaxies**)، والكوازارات، والبلازارات (**blazars**) كلها عبارة عن نوى مجرية نشطة تمتلك تدفقات قوية جداً ويُمكنها التحرك نحو الخارج وعلى امتداد مناطق كبيرة من

الوسط بين-المجري. تتميز المجرات ذات الانوية النشطة بلمعان يميز مجرة عن أخرى، ويعود مصدر اللمعان إلى تأين الغاز بين النجمي بالطاقة التي يقوم الثقب الأسود الضخم بإطلاقها عبر التدفقات الموجودة [9].

عند سقوط الغاز النجمي في الثقب الأسود مثل " أنظمة الأشعة السينية الثنائية"، يتشكل قرص تراكم ويقوم بإصدار كميات كبيرة من الضوء على كامل طول الطيف المغناطيسي: " من الأشعة تحت الحمراء وصولاً إلى أشعة غاما وأشعة اكس ". يرجح أن تمتلك العديد من المجرات ثقبا اسودا فائق الضخامة، لكن يكمن أن يكون هادئ ولا يقوم حالياً بالتهام الغاز . في مجرات سيفرت نسجل تراكم مستمر للغاز على طول الثقب الأسود، أما في الكوازارات فنجد عملية تراكم مرتفعة على طول الثقب الأسود . [8] في 10% من المجرات ذات الأنوية النشطة يقوم الثقب اسود وقرص التراكم بطريقة ما بإصدار أشعة مكونة من جسيمات عالية الطاقة، وحقول مغناطيسية يطلقها الثقب الأسود نحو الخارج، وفي جميع الاتجاهات متعاكسة بالنسبة للقرص . تتميز خطوط الطيف لنوى المجرات النشطة بعدة ظواهر نسبية نذكر منها:

انزياح دوبلر في كل الاتجاهات وسرعات تصل إلى 200 كم/الثانية، الانزياح نحو الأحمر الجاذبي تحت تأثير الحقل الجاذبي للثقب الأسود يتغير لمعان نوى المجرات النشطة خاصة مجرات سيفيرت " عند أزمنة تصل إلى شهر عندما يكون عرض النواة اقل من 1pc ويمكن ان يصل المعان الى 10^{10} من لمعان القمر [7].

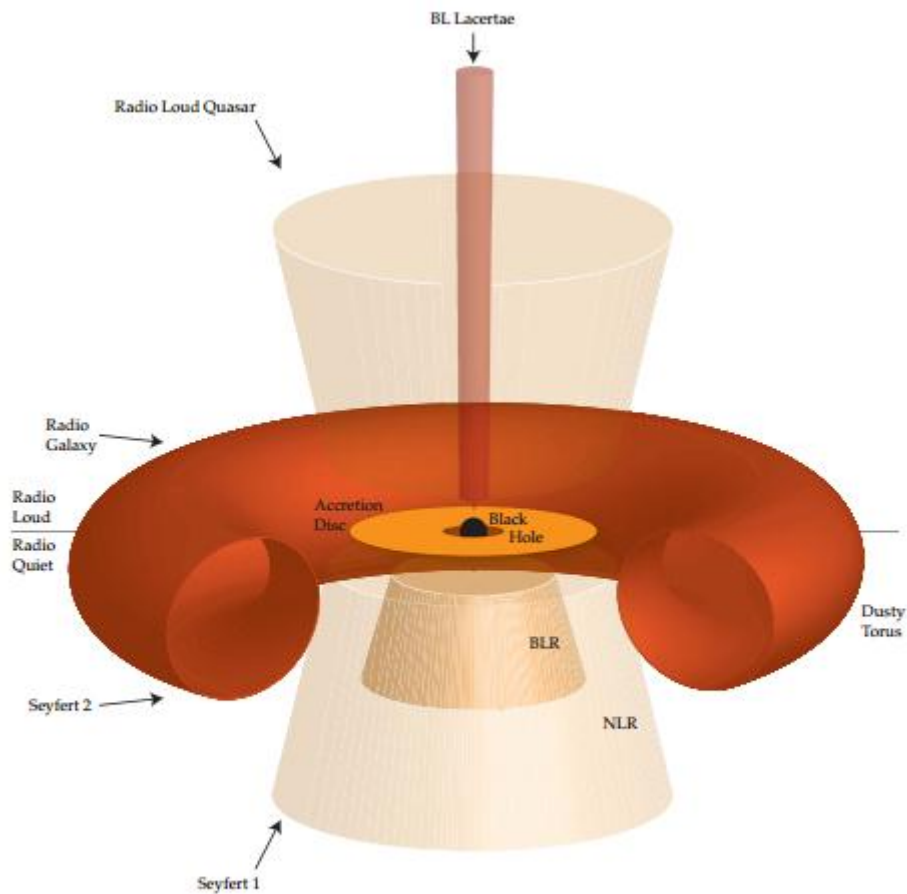
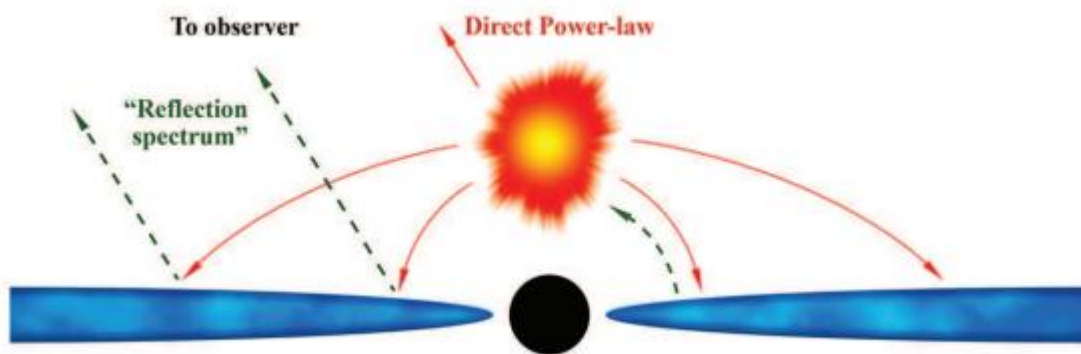


Figure 2.1: Schematic of an AGN showing how the different classes of observed source fit in to the unification model depending on the inclination of the line of sight.

الشكل 3.1: تصنيف المجرات ذات الانوية النشطة



الشكل 4.1: يمثل آلية إصدار الأشعة السينية من أقراص التراكم

9-1 مجرات زايبرت (Seyfert galaxy)

هو تصنيف لنوع من المجرات تصدر إشعاعا ناتجا عن غاز شديد التأين، هذا الإشعاع يبدو على هيئة خطوط مميز في الطيف، وسميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم الذي درسها "كارل زايبرت" [10]. وهو أيضا تصنيف للمجرات النشطة التي تحتوي على ثقب أسود فائق الضخامة في مركزها .

تتميز مجرات زايبرت عن غيرها من المجرات

- أنها مجرات ذات نواة نشطة وشديدة السطوع
- إشعاعات كهرومغناطيسية "شديدة اللعان" صادرة عن ذرات الهيليوم والهيدروجين و ذرات الحديد.
- تتميز خطوط الطيف الإشعاع الصادر عن الجرة باتساع دوبلر والانزياح نحو الأحمر الجاذبي .
- تنشأ خطوط الطيف المميزة هذه من سطح القرص الغازي أو من السحب الغازية تضيئها بشدة الغازات الغازات المتأينة المتمركزة عند المركز حيث يصعب تحديد مركز تلك الإشعاعات
- يغلب على مجرات زايبرت الإصدار في الأطوال الموجية لأشعة X
- أما الإصدار في المجال الراديوي فتكون خطوط الطيف واضحة ومستمرة.
- كما تتميز مجرات زايبرت بانبعثات خاص يميزها عن باقي المجرات ذات الأنوية النشطة ويعرف بانبعاث ميزر للماء (*Water maser emission*) حيث تم رصد هذا الانبعثات لحد اليوم في 5 مجرات زايبرت (*Seyfert galaxy*) محددة ولا زالت تحظى بالدراسة لحد الساعة [5].

الفصل الثاني: مساهمة رصد الأشعة السينية وطرق التحليل

تمهيد

كما نعلم فان الثقوب السوداء من أغرب الظواهر الفلكية في كوننا لكونها غير مرئية لنا، ولكن يمكننا دراسة أثارها وتأثيراتها . وهذا ما يهتم به علم الفيزياء الفلكية الذي يشهد تطورا كبيرا في مجال رصد ودراسة انبعاث الثقوب السوداء، والذي يركز على رصد وتحليل الانبعاث الصادرة من الثقوب السوداء. وما يحضى بالدراسة هي الثقوب السوداء ذات الأنظمة الثنائية (black hole binary system) والتي تتكون من ثقب اسود ونجم مرافق يدور حوله. هذا الأخير يقوم بسحب المادة النجمية للنجم المرافق بسبب جاذبيته الفائقة مما يؤدي إلى تولد منطقة حول الثقب الأسود تدعى بقرص التراكم. تتواجد حالات عمودية أو مائلة على مستوى قرص التراكم يعتقد أنها ناتجة عن تفاعلات ديناميكية تحدث في هذا القرص . حيث تصدر إشعاعات في مجال الأشعة السينية حول الثقب الأسود تتم دراستها لمعرفة مصدرها.

لرصد هذه الإشعاعات والتي غالبا ما يكون مجال إصدارها في الأشعة السينية، عملت كل من وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) والإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) إلى إرسال مسابير خاصة عملها الأساسي هو رصد هذه الطاقات العالية مختلف أرجاء الكون ، ومعرفة مختلف الظواهر الفيزيائية التي تحدث في أقراص التضخم.

منذ إطلاق مسابير الأشعة السينية تم دراسة العديد من الثقوب السوداء بمختلف أنواعها، هذه الدراسات مكنتنا من معرفة آلية عمل الثقوب السوداء، واستنتاج مجموعة من المعلومات والتي أصبحت قاعدة أساسية لدراسة الثقوب السوداء . في هذا الفصل من المذكرة سنتعرف على أهم الطرق الرياضية المستخدمة والتي تساعدنا على تحليل منحنيات الضوء (light curve) التي تم رصدها بواسطة المسابير واستخراج أهم المعلومات منها ،من خلال استخدام أدوات رياضية وبرمجيات خاصة للدراسة، واستخلاص المعلومات المراد إيجادها من الدراسة. كما سنتطرق إلى وصف بسيط إلى مسابير الأشعة السينية.

2-1 الطرق الرياضية المستعملة في تحليل الإشارات

لتحليل النتائج ومعرفة مختلف الخصائص من الإشارات المرصودة، وجب اللجوء إلى بعض الطرق الرياضية التي تمكننا وتساعدنا من تحليل مختلف الإشارات، ومن بين أهم الطرق المستخدمة في التحليل هي التحليل في المجال الزمني والتحليل في المجال الترددي [11].

2-1-1 التحليل في المجال الزمني

هو تحليل يستخدم للإشارات التي توافقت أشكال هندسية معروفة ومألوفة، والتي تتميز بدوال لها قابلية التغير في المجال الزمني. ولكننا غالباً ما نتعامل مع إشارات غير مألوفة الشكل الهندسي أو الرياضي، لذا وجب استعمال تحليل آخر يساعد على الدراسة. و عادة ما يتم اللجوء إلى التحليل في المجال الترددي وهذا لكون أن التردد ما هو إلا مقلوب للزمن، كما يمكن الانتقال من الزمن إلى التردد أو العكس وهذا من خلال استخدام تحويلات رياضية .

2-1-2 التحليل في المجال الترددي

يستخدم التحليل في المجال الترددي لدراسة الإشارات ذات الدوال والأشكال الهندسية الغير معروفة، وغالباً ما يتم تحويلها الدوال الجيبية لتسهيل الدراسة. كل هذا من خلال تحويلات فوري. كما يجب أن نشير إلى أن كلا التحويلين في المجال الزمني والتردد هما من بين الطرق الرياضية التي تساعد على تحليل الإشارات الخاصة بمنحنيات الضوء .

2-2 تحويلات فوري

تعتبر تحويلات فوري من أهم الطرق الرياضية الأكثر استعمالاً للحصول وتحليل الإشارات الدورية، والانتقال من التحليل في المجال الزمني إلى التحليل في المجال الترددي. نستخدم تحويلات فوري لتحليل منحنيات الضوء الصادرة عن المجرات ذات الأنوية النشطة والأنظمة الشائبة [12].

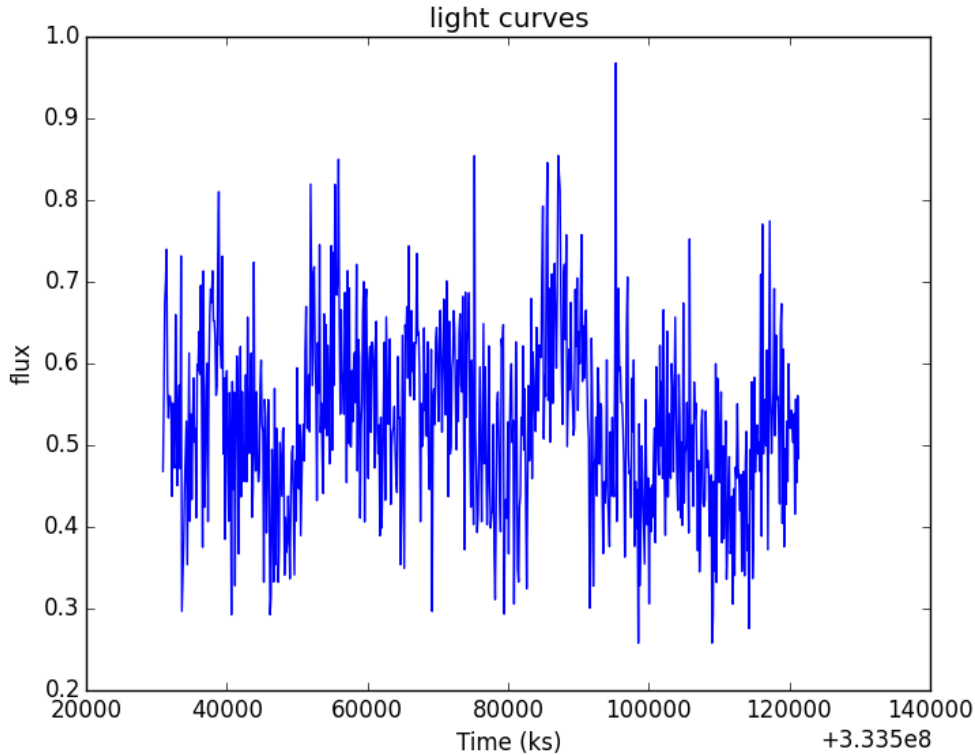
1-2-2 تحويلات فوري المتقطعة

هي عملية تحويل للإشارات المتقطعة في فضاء الزمن إلى إشارات في فضاء الترددات، حيث يعطى تحويل فوري المتقطع لمنحى ضوء الذي يتكون من تدفقات مقاسة في أزمنة متتالية بفارق (Δt) بواسطة العلاقة [12]:

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{\left(\frac{2\pi i n k}{N}\right)} \quad (1.2)$$

حيث (x_k) هي قيمة لمنحى الضوء و (X_n) هو تحويل فورييه المتقطع عند كل تردد فورييه:

مع $(f_n = n/(N\Delta t))$ و $n = 1, 2, 3, \dots, N/2$. وبالتالي فان التردد الادنى هو مقلوب مدة المراقبة. $(\Delta t T_{obs} = N)$. والحد الاقصى هو $(f_{max} = 1/2\Delta t)$.



الشكل 1.2: يمثل منحى ضوء لطيف المجرة النشطة NGC5506

نعتبر عن مربع تحويل فوري المتقطع لمنحى ضوء بالعلاقة:

$$X_n^2 = X_n^* X_n \quad (2.2)$$

حيث X_n^* هو مرافق X_n . من اجل الحصول على نفس الوحدات يتم تقنين الفترة الزمنية من اجل تجانس الوحدات، وهذا باستخدام العلاقة:

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

حيث تعبر القيمة في الأقواس عن متوسط تدفق منحى الضوء

2-2-2 تحويلات فوري السريعة

هي عبارة عن خوارزمية تستعمل لحساب تحويلات فوري المتقطعة والمبدأ هنا هو جد بسيط في هذه الخوارزمية، حيث يتم تقسيم التحويل المتقطع إلى تحويلات صغيرة جدا ومتتالية . وباستعمال خواص الدالة الأسية من الدورية والتماثل، ويجعل العدد N عدد أسّي للعدد 2 أي $N = 2^r$ ، في هذه الحالة العدد هو عدد زوجي تماما. وعليه هنا يمكننا تقسيم تحويل فوري إلى جزئين متساويين " جزء فردي " وجزء زوجي " كل جزء به $N/2$ قيمة وعليه:

$$X(k) = \sum x(n) W_N^{Kn} \quad (4.2)$$

يمكننا أن نضع تحويلات بسيطة للقيم الزوجية و للقيم الفردية :

$$W_N^{Kn} = e^{j\frac{2\pi ink}{N}} \quad \text{و للقيم الفردية } (n=2r+1) \quad \text{و للقيم الزوجية } (n=2r)$$

ومنه تكون علاقة تحويل فورييه السريعة تصبح كالآتي [11]:

$$X(k) = \sum x(2r) W_{N/2}^{Kr} \sum x(2r+1) W_{N/2}^{Kr} \quad (5.2)$$

3-2 طيف التقاطع والتأخر الزمني The cross spectrum and lag

يعطى طيف التقاطع لمنحني ضوء $X(t)$ و $Y(t)$ في نفس المجال الزمني باستعمال تحويل فوري المتقطع، (discrete fourier transform) باستعمال علاقة التحويل المباشر:

$$C_{XY;n} = X_n^* Y_n \quad (6.2)$$

ويمكننا أن نرى كيف أن طيف التقاطع يستعمل لاستخلاص التأخر الزمني الذي يعتمد على التردد، من خلال التمثيل الآسي لتحويلات فوري لمنحنيات الضوء $X_n = A_{x,n} \exp(i\psi_n)$ حيث $(A_{x,n})$ هي السعة (amplitude)، و (ψ_n) تمثل زاوية الطور (بوحدة الراديان) (التي تتوزع في المجال π الى $-\pi$) عند التردد (f_n) . ونعرف دور السلسلة بالمدة اللازمة لكي تتم البيانات الجيبية دورة كاملة واحدة. وعليه فإن منحنى الضوء $Y(t)$ مرتبط خطياً مع منحنى الضوء $X(t)$ مع ظهور طور إضافي نتيجة للترابط بين المنحنيين: $Y_n = A_{X,n} A_{Y,n} \exp(i(\psi_n + \varphi_n))$. مع ملاحظة اختفاء الطور الابتدائي نتحصل في الأخير على عبارة طيف التقاطع [12]:

$$C_{XY;n} = A_{X,n} A_{Y,n} \exp(i\varphi_n) \quad (7.2)$$

في طيف التقاطع يعطى التأخر الزمني بين منحنيات الضوء، كما هو متوقع من حيث المبدأ. يمكن أيضاً تقنين طيف التقاطع من أجل تجانس الوحدات. في حالة وجود أي إشارة غير مترابطة بين منحنيات الضوء (على سبيل المثال تشويش، إشارة غير متماسكة، أو بسبب وجود مكون إضافي مستقل متغير في نطاق طاقة واحدة)، ينبغي أن يكون متوسط الطيف بدلالة الترددات لعدة منحنيات ضوء يحقق العلاقة التالية من أجل الحد من آثار الإشارات غير المترابطة:

$$C_{yx}(v_j) = \frac{1}{KM} \sum_{n=i, i+K} \sum_{m=1, M} C_{XY;n, m} \quad (8.2)$$

وعليه التأخر الزمني بين منحني ضوء هو فرق الطور للعلاقة (7.2) والذي يحقق العلاقة التالية يعطى

:

$$\Delta t(\nu_j) = \varphi_j / (2\pi\nu_j) \quad (9.2)$$

غالبا ما يتم تحويل المرحلة إلى الفترات الزمنية لتسهيل تفسير البيانات، ولكن بما أن المرحلة تقصر على المدى من " π إلى $-\pi$ " يجب توخي الحذر عند تفسير أي فترات زمنية تتطابق مع الفواصل الزمنية القريبة لهذه الحدود. أما النسبة للترددات الواسعة ليس من الواضح دائما ما هي القيمة التي ينبغي استعمالها لتردد المجال للحصول على التأخر الزمني، على سبيل المثال هل ينبغي ترجيح التردد وفقا لكل تردد، أم ينبغي استخدام مركز المجال أو التردد المتوسط غير المرجح؟ الإجراء الأكثر شيوعا هو استخدام مركز المجال الترددي لأن تحويل فترات التأخير إلى الفترات الزمنية يتم أساسا للتعبير عن تأخر المرحلة من حيث جدول زمني مفيد. وسيؤدي اختيار التردد إلى بعض التحفيزات الصغيرة في التأخر الزمني الملحوظ، ولكن يمكن حساب هذا التأثير بسهولة عند نمذجة التأخر، أو عن طريق تركيب النماذج في طيف التقاطع أو الطور المتراكم المباشر.

4-2 التماسك والأخطاء

يعرف التماسك "coherence" في مجال التردد على النحو التالي:

$$\gamma^2(\nu_j) = \frac{|\bar{C}_{XY}(\nu_j)|^2 - n^2}{P_X(\nu_j)P_Y(\nu_j)} \quad (10.2)$$

حيث تم تقنين طيف القدرة من اجل الحصول على التماسك الجيد لطيف التقاطع لإلغاء التشويش، و إلا فان التماسك الملحوظ سيكون دائما وحدة. كما يمكن استنتاج التماسك من خلال التحويلات الخطية بين منحنيات الضوء، ومن الممكن أن يحدث انخفاض للتماسك بين منحنيات الضوء عند استعمال التحويلات الغير خطية. هندسيا: يعطي التماسك مؤشرا على انتشار متجه طيف التقاطع الذي تسببه البيانات غير المترابطة، من ثم يمكن استخدامه لاستخلاص الخطأ في التأخر الزمني [11].

حيث أن خطا الطور في طيف التقاطع يمكن التعبير عنه و إيجاد انطلاقا من التماسك بين المنحنيات الضوئية وهو يحقق العلاقة التالية:

$$\Delta\phi(vj) = \sqrt{\frac{1-\gamma^2(vj)}{2\gamma^2(vj)KM}} \quad (11.2)$$

حيث خطأ الفاصل الزمني هو ببساطة: $(\Delta\tau = \frac{\Delta\phi}{2\pi vj})$.

من النقاط الهامة التي نلاحظها هنا أن التماسك المستخدم لتقدير الخطأ هو التماسك الخام، حيث لم تسفر قيم طيف القدرة عن إلغاء التشويش من الحسابات . ميزة هذا النهج هي أن الخطأ للتأخر الزمني يمكن تحديده بسهولة من البيانات دون أي افتراضات أخرى. لان الكميات المستخدمة ببساطة لوحظت عبر طيف التقاطع وطيف القدرة و في هذه الحالة يصبح التماسك الخام في حدود $1/KM$ ، والخطا المقدر في الطور سيتشبع عند $(\Delta\phi = \frac{1}{\sqrt{2}})$.

بعد أن قدمنا لمحة عن تحويلات فوري ومختلف خصائصها، واستعمالها في تحليل منحنيات الأشعة السينية نلظر الآن في التطبيق العملي لتحويلات فوري على البيانات الحقيقية:

2-5 حساب التأخر الزمني بدلالة التردد

تم تطبيق التحليل في المجال الترددي لأول مرة على البيانات المأخوذة من ثنائيات الأشعة السينية (X - *ray binaries*)، كما استخدم لدراسة الترددات المنخفضة في المجرات ذات الأنوية النشطة (*AGN*) قبل أن يؤدي في النهاية إلى اكتشاف تاخرات صغيرة وصدى في الترددات عالية [13.12].

إن الميزة الرئيسة للتحليل باستعمال تحويلات فوري للأظمة التي تحتوي على متغير كالزمن : هي أن الظاهرة المدروسة المعتمدة على الزمن مرتبطة بالعمليات الفيزيائية المتعددة حيث يمكن بسهولة تفكيكها وبالتالي أصبح هذا المنهج أساسي لاكتشاف التأخرات اللينة في المجرات نشطة النوى (*AGN*) [13].

و عليه فالخطوات العملية لحساب التأخر الزمني بدلالة الترددات للمجرات ذات الأنوية النشطة (AGN) (*lag - frequency*) وغيرها من الأنظمة المعتمدة على التردد هي:

_ نقوم بإنشاء منحنيات الضوء الخاصة بالبيانات التي تم رصدها، مع مطابقة الوقت لأخذ العينات في نطاقات طاقة منفصلة.

_ نقسم منحنيات الضوء إلى شرائح في مجالات زمنية متساوية، واختيار طول المجال على أساس أدنى تردد. ويمكن استيفاء الفجوات الصغيرة في منحنيات الضوء (حتى نسبة مئوية قليلة من زمن منحنى الضوء) مع إضافة الأخطاء العشوائية لمطابقة أخطاء الرصد دون تشويه كبير في الطيف الناتج شريطة أن يكون التغيير في الوقت المحدد. كما ينبغي تجنب الفجوات الكبيرة باستخدام خيار مناسب لحجم المجال و الطريقة التي نحسب على إثرها تماسك البيانات والأخطاء.

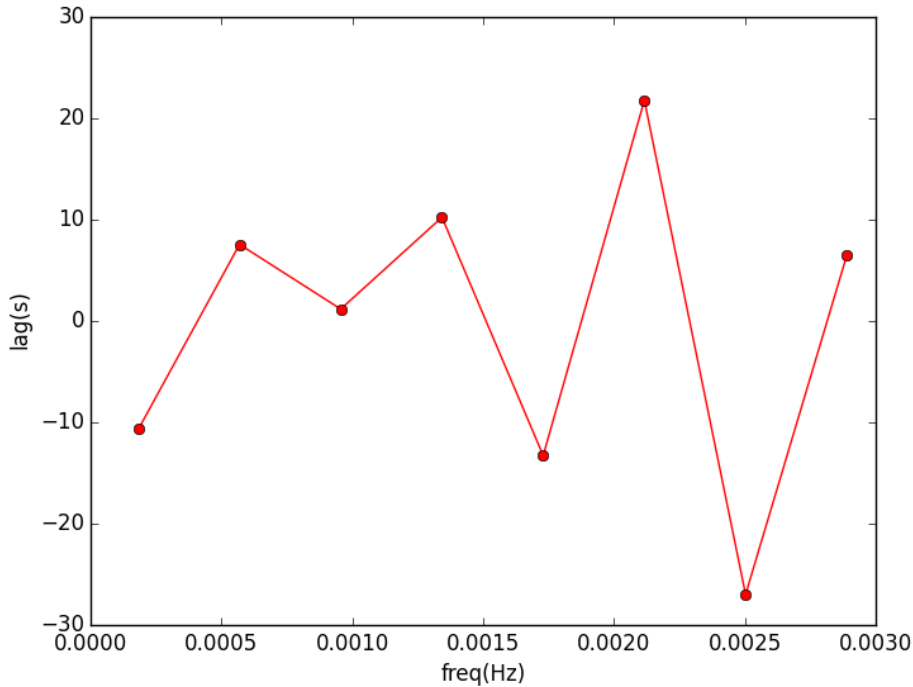
_ يجب الحصول على طيف القدرة (*PSD*) و طيف التقاطع (*cross spectrum*) بالنسبة لكل منحنى ضوء ، لأنه من خلال طيف القدرة يمكن أن نميز مصدر هذه الإشعاعات الملتقطة. كما أن طيف التقاطع يستخدم للحصول على التأخر الزمني بين منحنيات الضوء.

_ بعد الحصول على طيف التقاطع بين منحنيات الضوء واستعمال التحويلات المركبة ، يمكننا ببساطة الحصول على التأخر الزمني والذي يمثل طور طيف التقاطع (*phase of cross spectrum*) لكي تكون النتائج أكثر دقة ووضوحاً يجب حساب التماسك الخام من طيف القدرة *PSD* و طيف التقاطع (*cross spectrum*).

بما أننا نتعامل مع بيانات ملتقطة بواسطة أجهزة الكترونية وهذه الإشعاعات قادمة من الكون يمكن أن يحدث بعض التشويش على البيانات سواء في عمليات الرصد، أو حساسية الأجهزة المستخدمة. لذا يجب حساب خطأ الفارق الزمني لتكون النتائج أكثر دقة وذات معنى فيزيائي.

إن اختيار طول المجال قد يكون مهماً بنسبة كبيرة في الدراسة ، حيث أن الفواصل الزمنية يمكن أن تتسرب عبر الترددات (ويرتبط التأثير بمشكلة " تسرب الضوضاء الحمراء) ويكون هذا التأثير أقوى

عندما يكون تدرج الطيف الترددي أكبر. لحد هذه الدراسات تأثير التسرب للفواصل الزمنية لم يؤثر نوعيا على أي من نتائج التأخرات الزمنية التي اكتشفت حتى الآن. ولكن قد تصبح مهمة إذا تم تطبيق تطبيق نماذج أكثر تفصيلا. ويمكن خفض التسرب باختيار مجال أطول (بحيث يتم اخذ عينات من الجزء الأكثر وضوحا من طيف القدرة، مما يؤدي إلى ترسب اقل في الترددات المنخفضة) أو عن طريق مطابقة نهاية البيانات. على الرغم من أن هذا يمكن أن يؤدي إلى تحيزات أخرى، والتي ينبغي أن تكون على غرار نهج واحد لتكبير طول المجال (اختيار طول قطعة ثابتة يمكن أن يؤدي إلى تجاهل بعض البيانات عند الملاحظات، أما اختلاف طول القطعة طول يمكن أن يؤدي إلى تجاهل بعض البيانات عند فترات زمنية مختلفة). ويستخدم هذا النهج أفضل وجه عندما لا يتوقع أن يكون التسرب لأطوال كبيرة أو أجزاء متشابهة نسبيا منذ الجمع بين البيانات مع آثار التسرب المختلفة (بسبب أطوال المجالات المختلفة)، هذا الاختلاف الجوهرى يمكن أن يؤدي إلى نتائج يصعب نمذجتها [12].



الشكل 2.2: طيف التأخر الزمني بدلالة الترددات لمجرة نشطة NGC 5506

بعدما تعرفنا على كيفية حساب التأخر الزمني بدلالة الترددات، نظر الآن إلى كيفية حساب التأخر الزمني بدلالة الطاقة لأنها المحور الأساسي للدراسة.

6-2 طيف التأخر الزمني بدلالة للطاقة

وعلى الرغم من أن قياس التخلف الزمني بدلالة التردد يمكن أن يعطي نتائج قيمة، فإنه من المفيد بصفة خاصة معرفة التأخر الزمني بدلالة الطاقة خاصة عند ارتفاع درجة الطيف لمعرفة مختلف الظواهر الفيزيائية التي تساهم في التأخر.

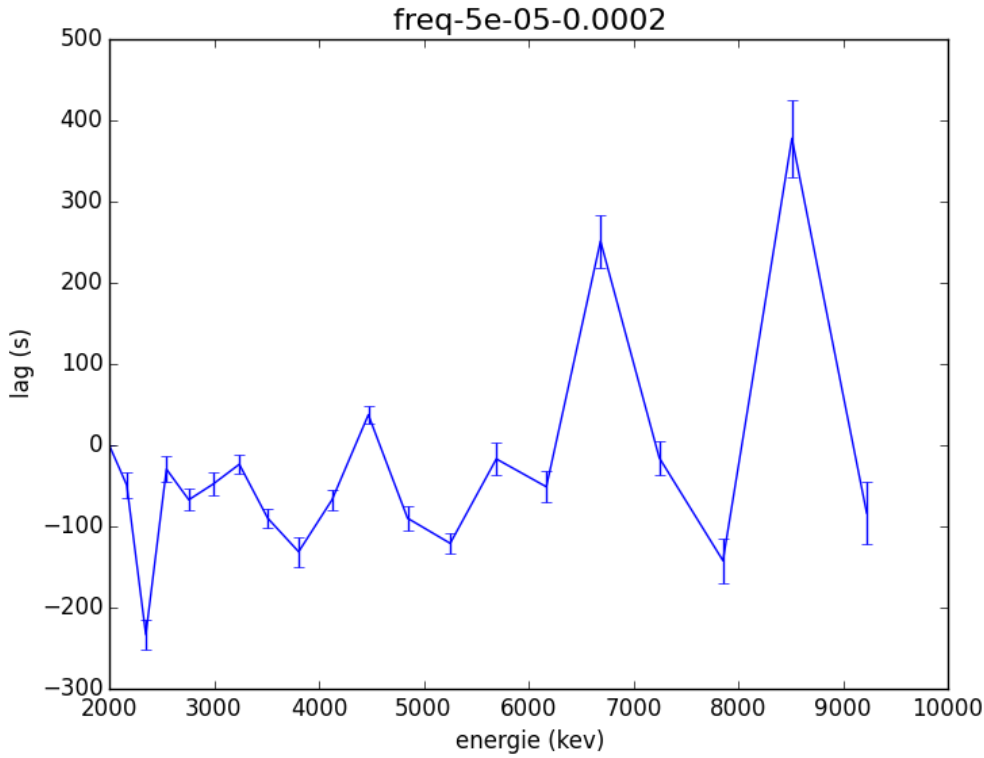
طيف تأخر الطاقة (*lag - energy spectrum*) يساعد على تحسين الإشارة: وهذا من خلال اختيار مجال ترددي أوسع لطيف التقاطع أكثر من المجالات الصغيرة المستخدمة لأطياف المعتمدة على التردد .

من أجل زيادة الإشارة وإلغاء التشويش يمكننا من اختيار مجال طاقة واسع لقياس طيف التقاطع لكل المجالات الطاقوية، و هذا من خلال اختيار مجال ترددات يمكننا من قياس التأخر الزمني لكل مجالات الطاقة بالنسبة للحصول على طيف التأخر الزمني للطاقة. فإنه من السهل عندئذ تفسير التأخر الزمني بين كل مجالات الطاقة. [12]

وفيما يلي الخطوات العملية لحساب التأخر الزمني بدلالة الطاقة:

اختيار مجال طاقتوي مرجعي و جعل منحنى لكل مجال من المجالات باستخدام نفس الوقت مع اخذ عينات مرجعية. باستخدام منحنى الضوء المرجعي المصحح مع منحنى الضوء نحصل على طيف القدرة و طيف التقاطع، بإتباع نفس الخطوات للحساب في التحليل الترددي.

حساب متوسط أطياف القدرة *PSD* والأطياف المتقاطعة عبر المدى لمختلف منحنيات الضوء على طول المجال الطاقتوي ، هذه الأخيرة تمكننا من الحصول على التأخرات والتماسك الخام وأخطاء التأخر الزمني



الشكل 3.2: التأخر الزمني بدلالة الطاقة لطيف المجرة NGC 5506

7-2 مسابير رصد الأشعة السينية :

كما نعلم فان علم الفيزياء الفلكية هو علم يتركز على رصد الإشعاعات الناتجة عن مختلف الظواهر الفيزيائية التي تحدث في كوننا الفسيح خاصة وان هذه الإشعاعات تحمل معلومات جد مهمة حول الظاهرة الفيزيائية . ولهذا قامت كل من (NASA و ESA) بإرسال مسابير خاصة لرصد الطاقات العالية في الكون والتي تكون عادة ناتجة عن ظواهر فلكية معروفة: المستعرات العظمى، النجوم النيوترونية، اندماج الثقوب السوداء، أقراص التضخم للثقوب السوداء الفائقة الضخامة.... ". حيث تكون الطاقات المنبعثة في مجال الأشعة السينية [14].

الفصل الثاني

من بين المسابير الخاصة برصد الأشعة السينية:

المسبار	الوظيفة	تاريخ التفعيل
Chandra X-ray Observatory	قياس الأشعة السينية الصادرة من الأجرام	23 ديسمبر 1999
XMM Newton	رصد الكون في نطاق الأشعة السينية	10 ديسمبر 1999
NuStar	قياس تركيز الأشعة السينية	13 جوان 2012
Rossi X-ray Timing Explorer	رصد التغيرات الزمن لمصادر الأشعة السينية	30 ديسمبر 1995

جدول 4.2: بعض المسابير المستعملة لرصد الأشعة السينية

من خلال عملية الرصد التي قامت بها هذه المسابير تم جمع معلومات جد جيدة حول كوننا، كما أصبح بإمكاننا قياس كميات الطاقة المتحررة من الثقوب السوداء في مجالات طاوقية مختلفة في أجزاء جد صغير من الثانية

1-7-2 مرصد اكس أم أم نيوتن (XMM – Newton):

مسبار اكس أم أم نيوتن (XMM – Newton) هو مسبار خاص أرسلته الوكالة الأوروبية لأبحاث الفضاء لرصد الكون في مجال الأشعة السينية. وأهم وظيفة لهذا المسبار الفضائي هو رصد الكون في نطاق الطاقات العالية (إنفجارات أشعة غاما، انفجار المستعرات العظمى، الإشعاعات الصادرة عن النجوم النيوترونية) الصادرة عن الثقوب السوداء فائقة الضخامة، تم تفعيله في 10 ديسمبر 1999 .

XMM-Newton Science Archive
esa

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

Welcome to the XMM-Newton Science Archive

The X-ray Multi-Mirror Mission, XMM-Newton, is an ESA X-ray observatory launched on 10 December 1999. It carries 3 high-throughput X-ray telescopes with unprecedented effective area and an Optical Monitor, the first flown on an X-ray observatory.

The XMM-Newton Science Archive (XSA) provides simple and flexible access to data from the XMM-Newton mission including searches on the associated EPIC and OM catalogues. The XSA has been developed for the XMM-Newton project by the Science Archives Team with requirements provided by the XMM-Newton Science Operations Centre .

Top Features

 Search

 XMM-Newton

 Command line and URL access

XMM-Newton Images

XMM-Newton catches black hole feasting on a star

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

XMM-Newton Science Archive Search

Position
File

Name
 Equatorial
 Galactic

Target in

 Field Of View
 Circle
 Box


Name
for
Resolve

▶ Observation and Proposal filters

▶ Display options

[Reset Form](#)

Catalogue Search >


 Submit

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

الشكل 5.2: واجهة الدخول إلى موقع مرصد (*XMM – Newton*)

لاستخراج المعلومات المشفرة من موقع (*XMM – Newton*) يجب أولاً تسجيل الدخول إلى الموقع لوضع ملف شخصي للمستخدم، والذي يسمح له بإمكانية التعامل مع مختلف المعطيات المتوفرة والاطلاع على كل جديد خاص بالدراسات الحديثة للموقع، كما يمكنه العودة إلى المعطيات القديمة أن احتاج إلى ذلك [14].

User Registration



YAHYANGC

e-mail *	yahyab79@gmail.com
Name *	yahya
Surname *	MIMOUNE
Institute *	Institute of Physics, Universi
Address *	MSILA
Address (cont)	
City/Town *	Municipality of chel
State/Province *	Student
Zipcode *	28014
Country *	Algeria ▼
Phone	
Fax	

User Name *

Password *

Confirm Password *

Fields marked with an (*) are mandatory.

Cancel
Clear
Submit

الشكل 6.2: تكوين صفحة شخصية للمستخدم

2-7-2 مسبار نوستار NuStar هو مسبار لرصد الأشعة السينية يهتم بقياس تركيز الأشعة السينية عالية الطاقة ويستخدم للتحليل الطيفي النووي، مجال رصده للطاقة هو $(3 - 80)kev$ وهو من ضمن المهمة 11 لبرنامج NASA تم تفعيله بنجاح في 13 جوان 2013 [15].

منذ إطلاق مختلف المسابير لرصد الأشعة السينية في الكون حققت هذه المسابير الأهداف التي أرسلت من أجلها، كما أدت مختلف الاكتشافات إلى فتح أبواب جديدة في مجال البحث العلمي للفيزياء الفلكية. ومن بين النتائج نذكر

__ تحليل مطيافي لمختلف النجوم وبمختلف أحجامها

- دراسات الغازات المتأينة في تجمعات المجرات

- قياس دوران الثقوب السوداء

- اكتشاف رياح نجمية فائقة السرعة صادرة من مجرات بها ثقوب سوداء فائقة الضخامة تصل سرعتها إلى ربع سرعة الضوء.

2-8 لغة البرمجة بايثون (Python):

هو لغة برمجة الحاسوب يستعمل في جميع الميادين ولكنه يستخدم بصفة أساسية في علم الفلك من اجل محاكاة ودراسة البيانات التي يتم جمعها بواسطة مسابير الأشعة السينية. من اجل استخلاص المعلومات. وهي برنامج تتميز بالدقة والسهولة في التعامل. كما أنها تحتوي على مجموعة من الخوارزميات الخاصة بعلم الفلك. يمكن تثبيت البرنامج على الأنظمة المغلقة والمفتوحة [16].

```
Python 2.7.10 (default, May 23 2015, 09:40:32)
Type "copyright", "credits" or "license()" for
>>> print 'hello world'
hello world
>>>
```

الشكل 7.2: أول برنامج بلغة البايثون

الفصل الثالث: دراسة التغيرات الزمنية لطيف المجرة NGC4151

تمهيد

كما تطرقنا في الفصل الأول، فإن الثقوب السوداء فائقة الضخامة تتواجد في مراكز المجرات ذات الأنوية النشطة وهي دليلنا لدراسة الخواص الفيزيائية لهذه المجرات. و يمكن أن تتواجد هذه الثقوب متفردة أو على شكل أنظمة ثنائية، ولها إصدارات في مجال الأشعة السينية. مع ملاحظة مجموعة من التفاعلات الفيزيائية الشهيرة مثل تصادم كومبتون. ومما هو معلوم لحد اليوم أنه لا يمكننا معرفة ماذا يحدث داخل الثقب الأسود وخاصة ما وراء أفق الحدث. لذا فإن أقراص التراكم هي دليلنا لدراسة الثقوب السوداء التي تقوم بإصدار نفثات من الطاقة العالية. هذه الإصدارات الأخيرة من النفثات الطاقوية تسمح لنا بتحديد نوع المجرة ذات النواة النشطة. مع ملاحظة ظواهر نسبية تميز هذه الانبعاث بصدى وتأخرات زمنية تعود للظواهر النسبية مثل الانزياح نحو الأحمر الجاذبي . لرصد هذه الانبعاث يجب ترصدها بأحد المسابير الخاصة لرصد الأشعة السينية المشهورة.

في عملنا سنقوم بدراسة منحنيات الضوء الخاصة بالمجرة النشطة NGC 4151 وتحليلها واستنتاج التأخر الزمني الحاصل بين مختلف المجالات الطاقوية، حيث تم الاعتماد على البيانات المرصودة من طرف المسبار (XMM-Newton) في المجال الطاقوي keV (2-10).

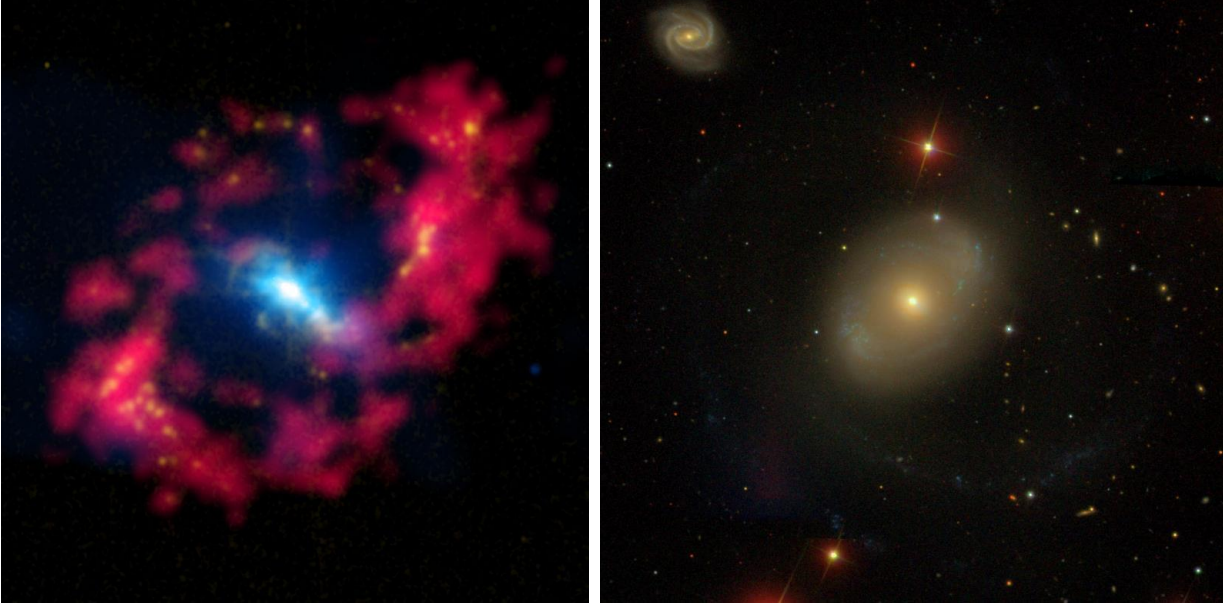
1-3 المجرة NGC 4151

هي مجرة ذات نواة نشطة من نوع زايفرت 1 Seyfert galaxies تبعد عنا بمسافة 19 Mpc، ولكنها اقرب مجرة Seyfert إلى الأرض، لها ثقب اسود فائق الضخامة تبلغ كتلته حوالي $M=4.5\pm 0.5 \times 10^7$ من كتلة الشمس لها انزياح نحو الأحمر ($z = 0.0033$)، وتعد نواتها من المع الأنوية

في AGN

حظيت المجرة بالعديد من الدراسات، وقد تم رصدها بواسطة جميع المسابير الخاصة بالأشعة السينية، وقد قدمت لنا الدراسات حول هذه المجرة العديد من المعلومات حول مجرات Seyfert. ولعل من ابرز الظواهر

الفيزيائية التي تم رصدها من انبعاث قرص التراكم للمجرة هو اكتشاف صدى الحديد لأول مرة مع تأخر زمني يقدر بأجزاء من الثانية ثانية بين مجالات الطاقة keV (6-7) و keV (3-4) و keV (7-8). يتميز طيف المجرة بهيمنة تفاعلات كومبتون من المجال الأشعة السينية مع بروز خطوط انتقال ضيقة لذرة الحديد في مجال طاقي قدره $6.4 keV$ ، مع انعكاسات بلغت ذروتها $30keV$ [17].



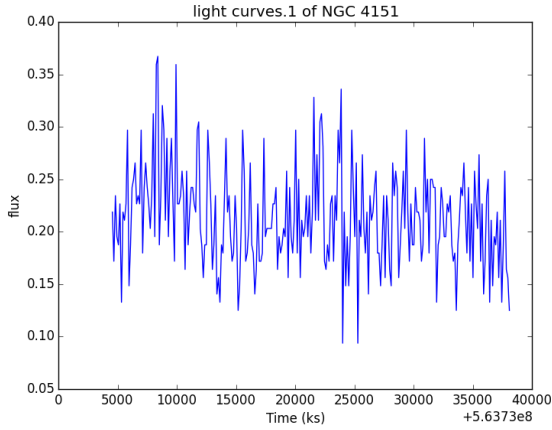
الشكل 1.3: صور للمجرة NGC4151 مأخوذة بواسطة مسابير مختلفة واطوال موجية مختلفة

2-3 حساب التأخر الزمني:

تم تحميل ملف المعلومات الخاص بدراستنا من أرشيف (XMM-Newton) والذي يضم كل المعلومات الخاصة بالإشعاعات المرصودة بواسطة المسبار في سنة 2012 حيث يضم ملف المعطيات كل المعلومات المستعملة في الحساب: منحنيات الضوء، ترتيب القياس، والزمن [14].

من اجل تحليل المعطيات المرصودة بواسطة المسبار لطيف المجرة NGC 4151 سنعمد كما قلنا على لغة البرمجة البايثون لرسم منحنيات الضوء و تحليلها واستنتاج مختلف المعلومات المراد إيجادها من الدراسة

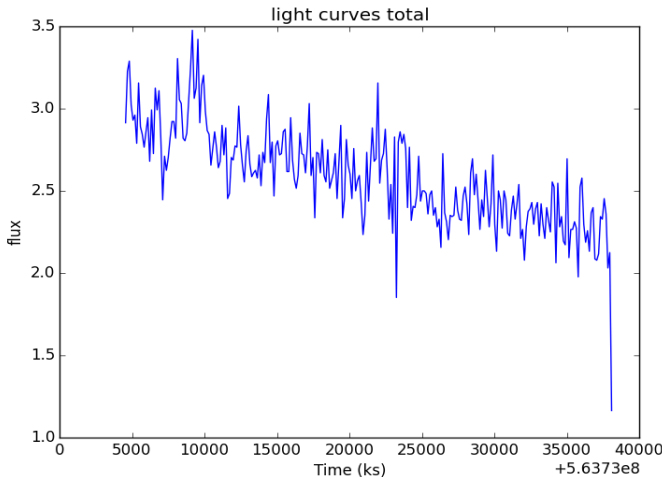
الفصل الثالث



```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import math
pi=math.pi
print 'ok'
data=np.loadtxt('lcs.dat')
t= data[:,0]
lc1=data[:,1]
plt.plot(t,lc1)
plt.xlabel('Time (ks)')
plt.ylabel('flux')
plt.title('light curves')
plt.savefig('lc1.png')
plt.show()
```

الشكل 2.3: برنامج لرسم منحى الضوء الأول الشكل 3.3: منحى الضوء رقم 1 لطيف المجرة NGC 4151

بعدما قمنا برسم منحى الضوء الأول الذي تم رصده في مجال طاقي keV (2-3) يمكننا الحصول على باقي منحنيات الضوء المتبقية لطيف المجرة NGC 4151 باستعمال نفس الخوارزمية مع الانتباه إلى تعديل في التعليمة من اجل رسم منحنيات الضوء حيث أن منحنيات الضوء تأخذ قيم فردية $(2n+1)$ ، وللحصول على مجموع منحنيات الضوء المتبقية ماعدا المنحى الأول نستعمل الخوارزمية التالية [15]:



```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import math
pi=math.pi
print 'ok'
data=np.loadtxt('lcs.dat')
t= data[:,0]
lc1=data[:,1]
yerr=data[:,2]
lct = np.sum(data[:,1::2], axis=1)
lct=lct-lc1
plt.plot(t,lct)
plt.xlabel('Time (ks)')
plt.ylabel('flux')
plt.title('light curves total')
plt.savefig('lct.png')
plt.show()
```

الشكل 4.3: خوارزمية لرسم كل منحنيات الضوء ماعدا المنحى الأول الشكل 5.3: مجموع منحنيات الضوء المتبقية لطيف المجرة NGC 4151

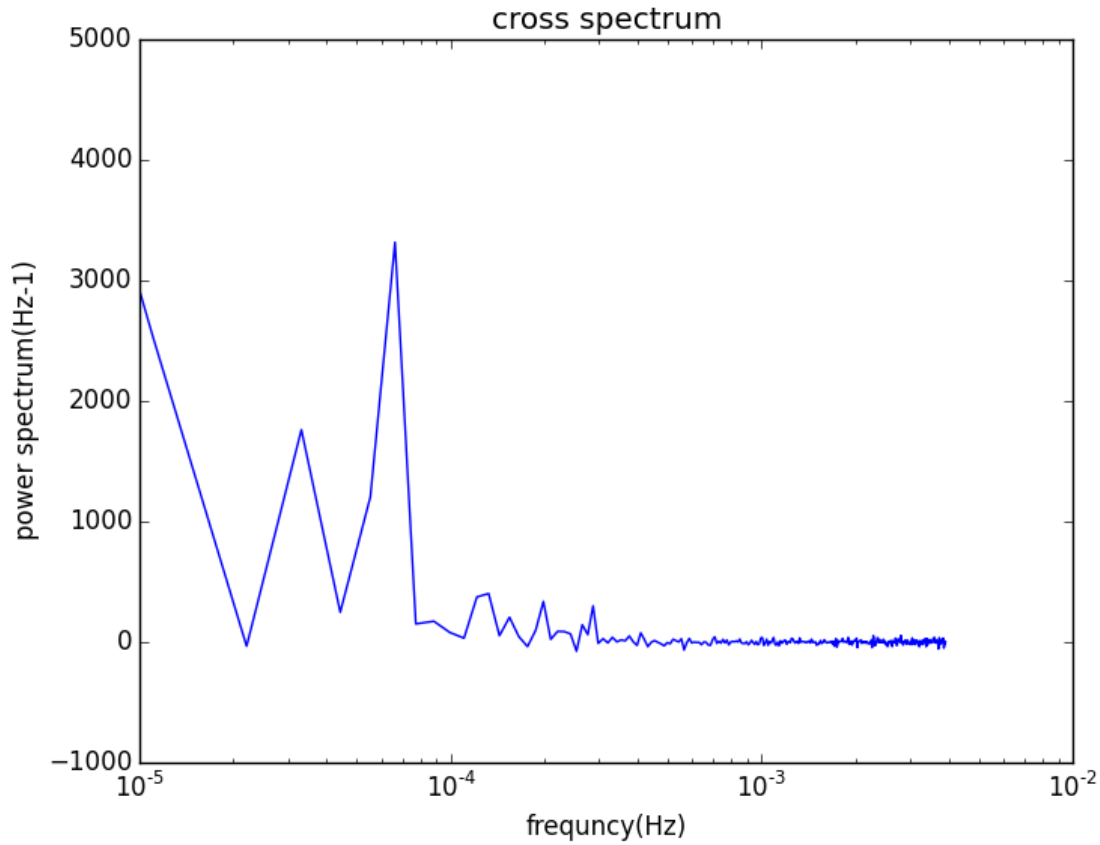
ماعدا المنحى الأول keV (2-3)

بعدها تحصلنا على منحنيات الضوء، يمكننا الحصول على باقي المنحنيات الخاصة بالمجرة " طيف القدرة PSD، طيف التقاطع cross spectrum، منحني التأخر الزمني بدلالة التردد، منحني التأخر الزمني بدلالة الطاقة " [15.12].

سنهتم أكثر تفصيلاً بطيف التقاطع cross spectrum بين منحنى الضوء الأول $x(t)$ وباقي منحنيات الضوء $y(t)$ لأنه ببساطة من طيف التقاطع cross spectrum يمكننا من حساب واستنتاج التأخر الزمني لطيف المجرة. ومن ثم تمثيله بدلالة الطاقة و التردد. للحصول على طيف التقاطع بين منحنى الضوء الأول $x(t)$ وباقي منحنيات الضوء $y(t)$ والذي هو عبارة جداء لطيفي القدرة لمنحنيات الضوء. والذي يمكننا من خلاله الحصول على جل المعلومات الفيزيائية المراد الحصول عليها " الترابط بين مجالات، التأخر الزمني " مع وجوب حساب الارتياح لأننا نتعامل مع مقادير فيزيائية في نفس المجال الزمني باستعمال تحويل فوريير المتقطع (discrete fourier transform) نجد:

$$C_{XY;n} = X_n^* Y_n$$

من خلال التمثيل الآسي لتحويلات فوريير لمنحنيات الضوء فان منحنى الضوء $y(t)$ مرتبط خطياً مع منحنى الضوء $x(t)$ مع ظهور طور إضافي نتيجة للترابط بين المنحنيين $Y_n = A_{X,n} A_{Y,n} \exp(i(\psi_n + \varphi_n))$ مع ملاحظة اختفاء الطور الابتدائي نتحصل في الأخير على عبارة الطيف المتقطع $C_{XY;n} = A_{X,n} A_{Y,n} \exp(i\varphi_n)$. ومنه نحصل على طيف التقاطع الشكل التالي:



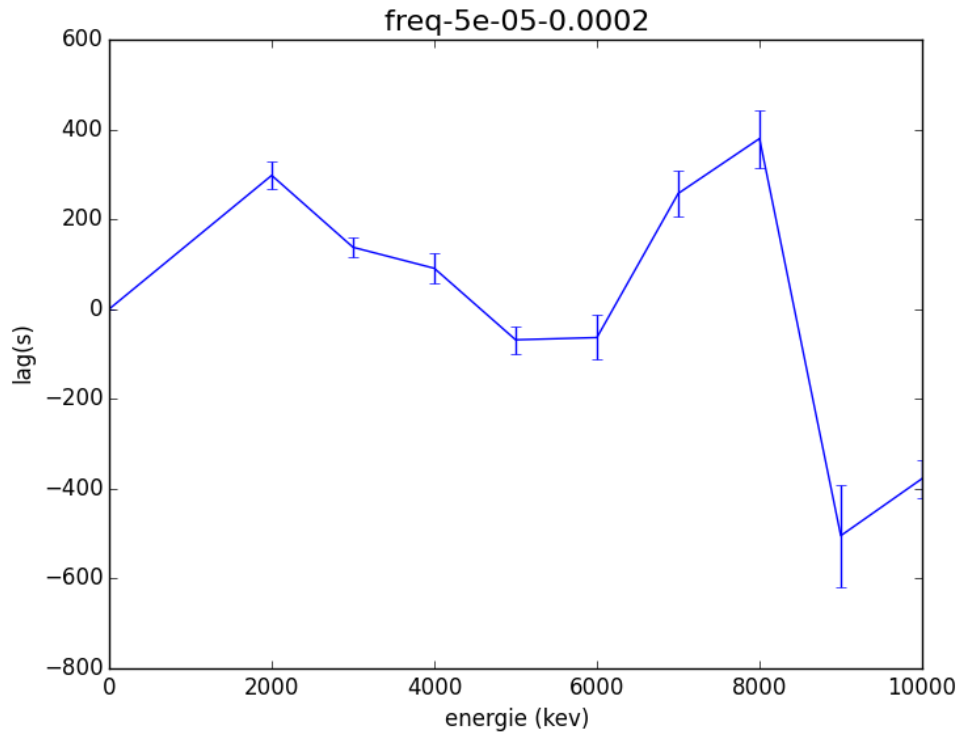
الشكل 7.3: طيف التقاطع بين منحنى الضوء الأول وباقي منحنيات الضوء

تحليل المنحنى:

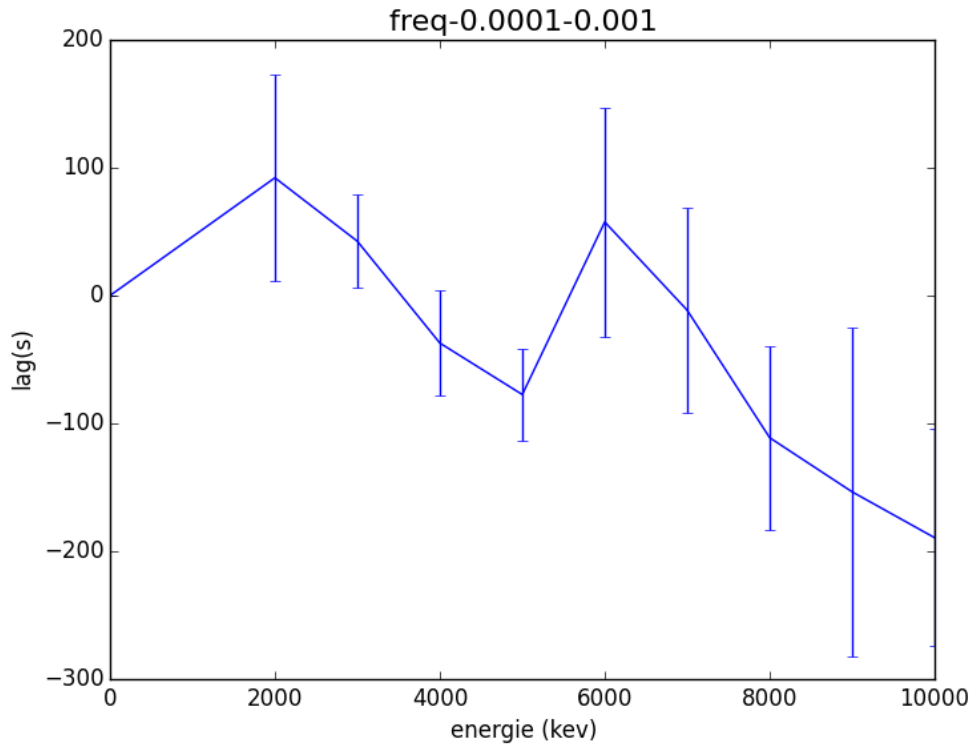
يمثل الشكل (7.3) تغير في قوة الطيف المتقاطع بدلالة التردد، حيث نلاحظ أن قوة الطيف المتقاطع تكون أقوى في مجال الترددات الضعيفة، ونسجل تناقص لقوة الطيف المتقاطع كلما كبرت الترددات.

لحساب التأخر الزمني بين منحنى الضوء الأول والباقي منحنيات الضوء والذي هو عبارة عن فرق الطور بين المنحنيات وعبارته هي: $\Delta t(\vartheta_j) = \varphi_j / (2\pi\vartheta_j)$:

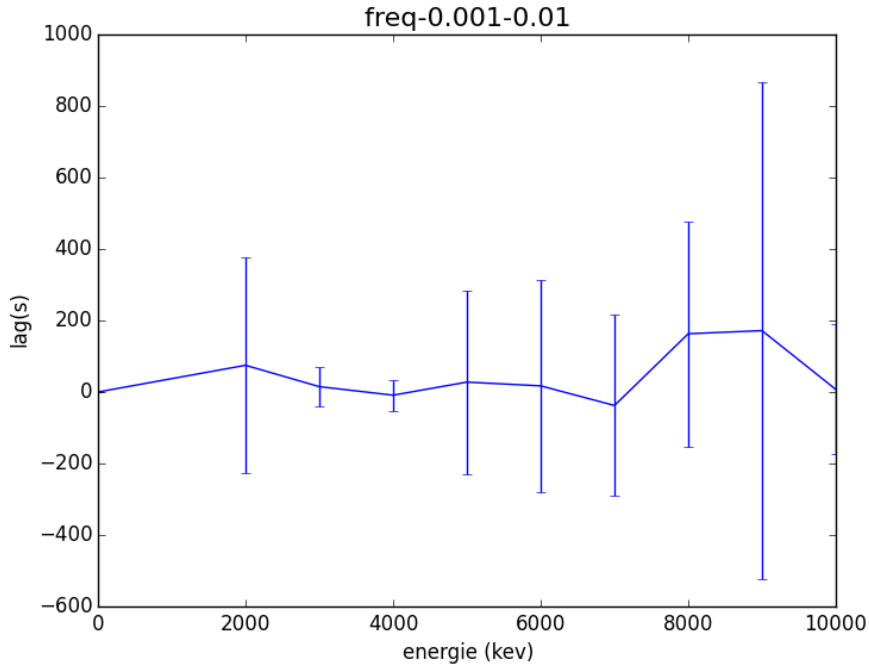
نحسب التأخر الزمني بين المنحنى الأول وباقي منحنيات الضوء من اجل الترددات الضعيفة والترددات الكبيرة:



الشكل 8.3: التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال $(5 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4})$ Hz



الشكل 9.3: التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال $(10^{-4} - 10^{-3})$ Hz



الشكل 10.3: التأخر الزمني بدلالة الطاقة في المجال $(10^{-3} - 10^{-2})\text{Hz}$

مناقشة المنحنيات:

تمثل الأشكال (8.3) (9.3) (10.3): التأخر الزمني بين مجالات الطاقة في ترددات مختلفة حيث نسجل:

في المجال $(5 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4})\text{Hz}$: تأخر زمني واضح بين مختلف المجالات للمجال keV (6-7) عن keV (3-4) و keV (7-8) مع ارتياب أقل.

في المجال Hz $(10^{-4} - 10^{-3})$: وجود تأخر زمني بين مختلف المجالات الطاقوية لكن الارتياب كبير نوعا ما.

في المجال Hz $(10^{-3} - 10^{-2})$: التأخر الزمني غير واضح مع ارتياب كبير جيدا. لا يوافق الدراسات الفيزيائية.

إذن: من خلال التحليل السابق نستنتج أن أحسن مجال لحساب التأخر الزمني بدلالة الطاقة هو مجال الترددات الضعيفة Hz $(5 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4})$ والذي يمكننا من الحصول على احسن النتائج للتأخر الزمني بين مختلف المجالات الطاقوية.

3-3 تفسير التأخر الزمني والمعني الفيزيائي:

من خلال المنحنيات والنتائج المتحصل عليها:

وجدنا تاخرات زمنية معتبرة بين للإشعاع المنعكس الموافق للمجال keV (6-7) والإشعاع المباشر الموافق للمجالات keV (3-4) و keV (7-8) .

شكل هذا التأخر يوافق إلى حد كبير شكل خط الحديد في طيف نواة المجرة. وجود التأخر الزمني دليل على انعكاس الأشعة السينية من قرص التراكم في مختلف مناطقه، حيث هذا الانعكاس يتسبب في تأخر وصول الأشعة السينية إلى المسبار.

تفاوت التأخرات الزمنية بين مختلف المجالات الطاقوية يعود إلى انعكاس الأشعة السينية فوق قرص التراكم ومدى قربها منه.

الملاحق

تمهيد:

في هذا الملحق سنقدم ملخصاً للعمل الذي شاركنا به في ملتقى الجزائر الرابع لعلم الفلك بولاية خنشلة أيام 27-29 مارس 2017، هذا المؤتمر من تنظيم مركز البحث في علم الفلك والفيزياء الفلكية والجيوفيزياء (CRAAG) من اجل ملاحظة مدى التقدم لإنشاء مرصد الاوراس.

الهدف

هدف عملنا هو حساب الانزياح نحو الأحمر الجاذبي لطيف المجرة GX399-4 ، و استنتاج نصف قطر التراكم لثقبها الأسود ذو الكتلة النجمية. حيث تم رصد انبعاث الثقب الأسود بواسطة مسبار نوستار nustar للأشعة السينية.

المجرة GX399-4

هي مجرة تبعد عنا بمسافة قدرها $7Kpc$ من الأرض، تمتلك ثقباً اسوداً ذو كتلة نجمية حيث تبلغ كتلته حوالي 6 من كتلة الشمس. يعد الثقب الأسود للمجرة GX 399-4 من أشهر 50 ثقباً اسوداً التي تم رصدها ودراستها بواسطة مسابير الأشعة السينية [18].

الانزياح نحو الأحمر الجاذبي: *Gravitational red - shift*

الانزياح نحو الأحمر الجاذبي تعتبر من التوقعات التي تنبأ بها اينشتاين في نظرية النسبية العامة والتي تحدث تحت تأثير حقل الجاذبية، حيث تؤثر جاذبية الأجسام على الزمن وتبطئه. وهذا ما يمكن رصده في الثقوب السوداء التي تتميز بجاذبية فائقة. حيث يجب علينا أن نهتم بدور الموجة الضوئية حيث أن الشعاع ذو اللون الأزرق والمنطلق من بالقرب من مركز الجاذبية، سوف يقل تردده بابتعاده عن مركز الجاذبية حيث يزداد طوله الموجي نحو اللون الأحمر. لان زيادة الطول الموجي هي الإزاحة نحو الأحمر وتقل طاقة الإشعاع المنطلق من مركز الجاذبية.

وتم قياس هذا التأثير أول مرة عام 1960 م بواسطة العالمين باوند وريبكا Pound-Rebka-Experiment وذلك باستخدام أشعة غاما. والإزاحة المقاسة عمليا بواسطتهما تعتبر صغيرة بمقارنتها مع الإزاحات الناتجة من طيف النجوم عالية الكثافة مثل الأقزام البيضاء والثقوب السوداء.

كما يجب أن نشير أن الإزاحة نحو الأحمر تحت أيضا تحت تأثير إحدى الظاهرتين الفيزيائيتين المعروفتين: الانزياح نحو الأحمر تحت تأثير دوبلر : هذه الإزاحة تتطلب حركة المنبع الضوئي إما قريبا أو بعدا عن المراقب. الإزاحة نحو الأحمر بسبب اتساع وتسارع الكون [19].

العلاقات الرياضية:

يرمز للانزياح نحو الأحمر بمتغير ليست له وحدة z ويعطي بالعلاقة:

$$z = \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e}$$

حيث :

λ_e : هو طول الموجة الذي يقيسه المشاهد.

λ_o هو طول الموجة عند القياس من المصدر.

باستعمال معادلات النسبية العامة يمكن حساب الانزياح نحو الأحمر الجاذبي بواسطة العلاقة.

$$z = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{r_s}{r}\right)}}$$

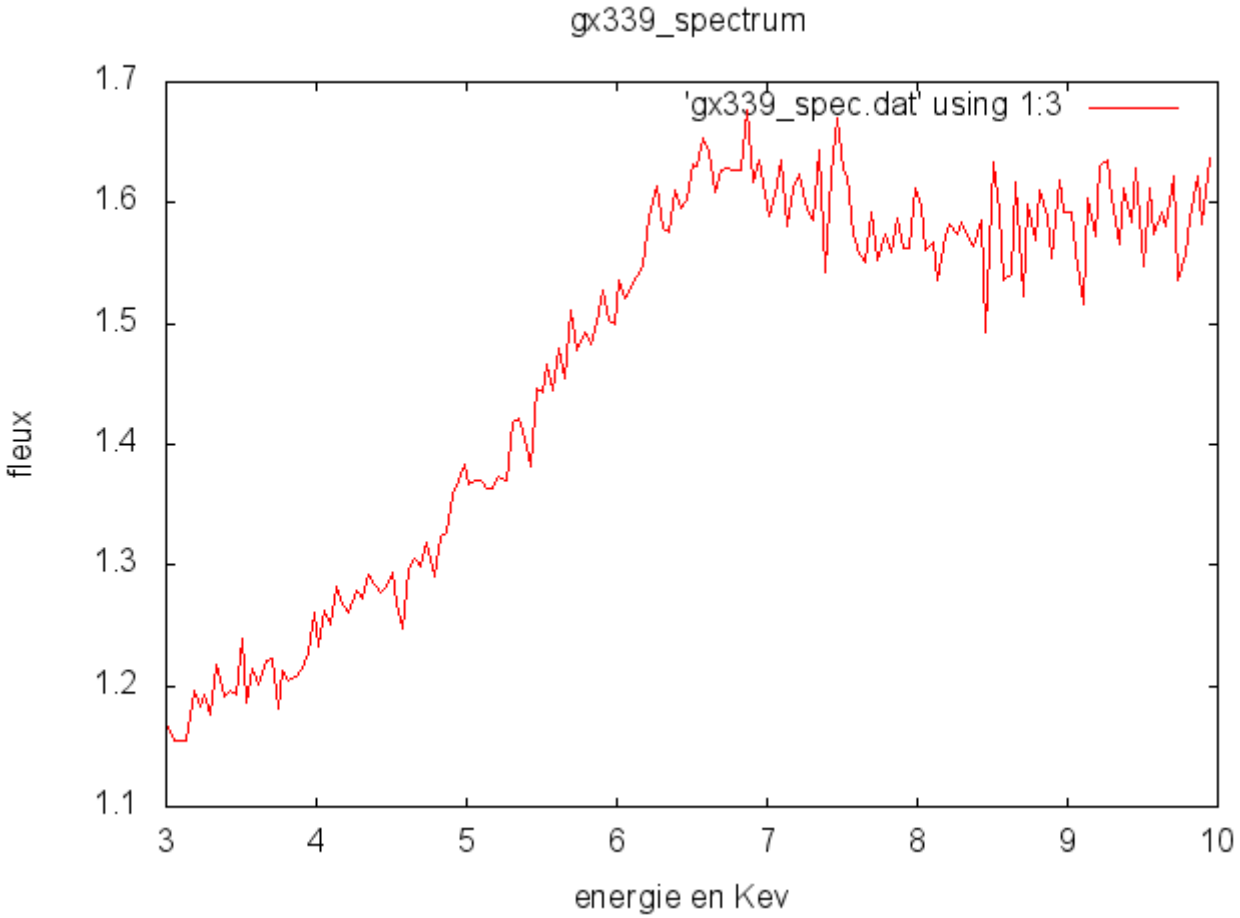
حيث $r_s = \frac{2GM}{c^2}$ هو نصف قطر شواتزشيلد G ثابت الجذب العام M كتلة الثقب الأسود c سرعة الضوء

في السرعات الضعيفة وحقول الجاذبية الكلاسيكية، تصبح عبارة الانزياح نحو الأحمر الجاذبي في الميكانيك الكلاسيكي:

$$z_{app} = \frac{1}{2} \left(\frac{r_s}{r} \right)$$

الدراسة التجريبية:

لحساب الانزياح نحو الجاذبي لطيف المجرة GX 399-4، نرسم طيف المجرة باستعمال برنامج gnuplot، بعد تحميل ملف المعطيات المشفرة من موقع المرصد نوستار.



طيف المجرة GX399-4 في المجال الطاقوي (2-10)keV

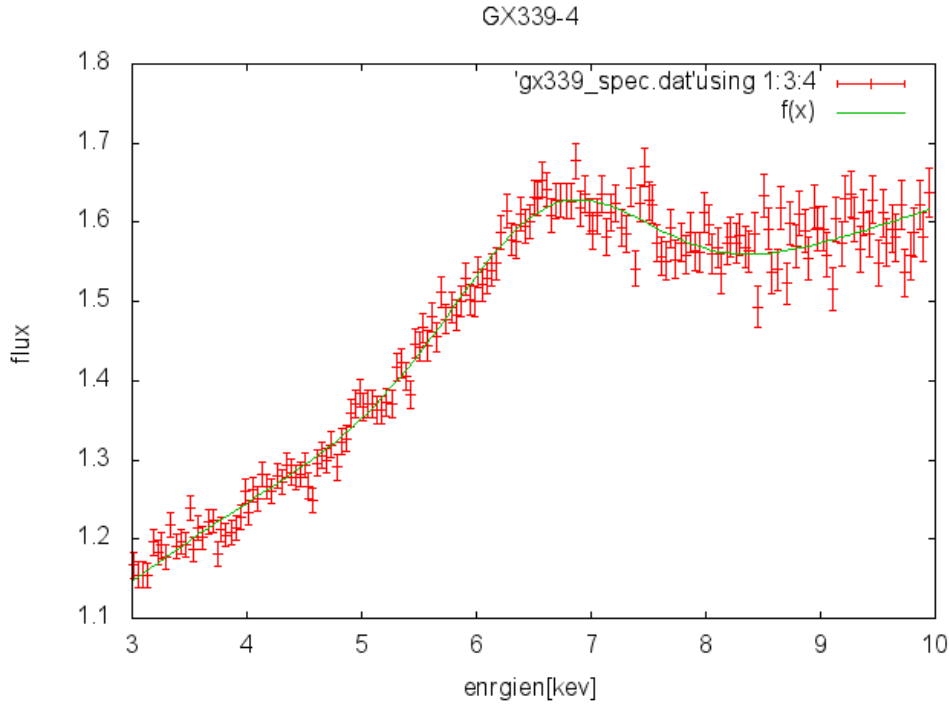
الملحق

من خلال المنحنى نلاحظ وجود قيمتين أعظمتين في المجال keV (6-7) والذي يوافق إصدار ذرة الحديد

من اجل تحديد قيمة كل انتقال نقوم بملاءمة الطيف باستعمال نماذج رياضية مناسبة من اجل دراسة الظاهرة الفيزيائية.

```
set terminal win
set terminal png
set output 'GX339-4.png'
set title 'GX339-4'
set xlabel 'enrgienkev'
set ylabel 'data'
a=1
b=1
ga=1
gc=6.4
sg=1
f(x)=a*x**(-b)+ga*exp(-(x-gc)**2)*(2*sg**2)**-1)
fit f(x)'gx339_spec.dat'using 1:3:4 via a,b,ga,gc,sg
plot 'gx339_spec.dat'using 1:3:4 with yerrorbars ,f(x)
```

برنامج ملاءمة لطيف المجرة GX 399-4 باستعمال برنامج gnuplot



نتيجة الملاءمة لطيف المجرة GX 399-4 مع إظهار الأخطاء.

بعد ملائمة طيف المجرة باستعمال دوال رياضية:

formule:

$$f(x) = a * x ** (-b) \text{ « Power-law »}$$

$$g(x) = Norm * e^{\frac{-(x-x_m)^2}{2\sigma^2+2}} \text{ « Gaussian »}$$

نلخص أحسن النتائج في الشكل المقابل

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
a	= 0.836097	+/- 0.00632	(0.7558%)
b	= -0.286876	+/- 0.004622	(1.611%)
ga	= 0.18148	+/- 0.005818	(3.206%)
gc	= 6.64797	+/- 0.02944	(0.4428%)
sg	= -0.83387	+/- 0.03446	(4.133%)

أحسن النتائج المحصل عليها بعد ملائمة الطيف

القيمة الدقيقة لطول الموجة عند المصدر هي $keV (6.4)$. وهي في الحقيقة عبارة عن طول موجي يعرف بانتقال (K-alpha)

ومن بعد ملائمة طيف قيمة طاقة ذرة الحديد هي $6.64keV$

يمكننا حساب الأطوال الموجية الموافقة اعتمادا من علاقة اينشتاين $E = \frac{h\omega}{\lambda}$

طول الموجة عند المصدر هو: $1,8674 \text{ \AA}$

طول الموجة المقاس هو: $1,9375 \text{ \AA}$

ومن يكون الانزياح نحو الأحمر الجاذبي $z = 0.038$

بما أن كتلة الثقب الأسود هي في حدود **6** من كتلة الشمس نجد:

نصف قطر شوارزشيلد $rs = 17.78 \text{ KM}$

من خلال علاقة الانزياح نحو الأحمر الجاذبي والتقريبات نجد:

$$r = 235.5 \text{ KM}$$

نصف قطر التراكم في حدود

النتيجة:

في هذا العمل قمنا بحساب الانزياح نحو الأحمر الجاذبي الاعظمي لطيف المجرة واستنتاج نصف قطر قرص التراكم لهذا الثقب الأسود النجمي، وجدنا أن نتائج قياسنا تتوافق مع الدراسات المنجزة حول الثقوب السوداء ذات الكتل النجمة والتي تكون كتلها اقل من 100 كتلة الشمس [20].

الختامة

الخاتمة:

في هذه المذكرة قمنا بدراسة طيف المجرة النشطة *NGC 4151* واستنتاج التأخر الزمني الحاصل بين الإشعاع المباشر والإشعاع المنعكس عن قرص التراكم. هذا الأخير هو من خواص الثقوب السوداء والتي تطرقنا إليها بنوع من التفصيل من منظور النظرية النسبية العامة و الفيزياء الفلكية وان أقراص التراكم هي مصدر انبعاث الأشعة السينية ; هي دليلنا لدراسة الثقوب السوداء.ومن ثم تطرقنا إلى مسابير رصد الأشعة السينية والتي تشهد تطوراً ملحوظاً في زمننا، مع شرح للطرق الرياضية والعملية المستعملة في تحليل البيانات والمعطيات وهذا باستخدام تحويلات فوري للحصول على مختلف المنحنيات اللازمة من أجل الدراسة " منحنيات الضوء، طيف القدرة، طيف التقاطع ". والتي من خلالها يمكننا استخراج أهم النتائج والمعلومات. أما في الفصل الثالث: أجرينا الدراسة العملية لتحليل طيف المجرة النشطة *NGC 4151* في المجال الطاقوي keV (2-10) بالاعتماد على المعطيات المرصودة بواسطة المسبار (*XMM – Newton*)، حيث وجدنا أن الترددات الضعيفة هي أحسن مجال للدراسة والتي مكنتنا من استنتاج التأخرات الزمنية بين مختلف المجالات الطاقوية مع ترتيب اقل. على العكس من ذلك فالترددات العالية وافقت تاخرات زمنية معدومة مع ترتيب كبيرة. لكون الترددات الصغيرة توافق الأزمنة الكبيرة خاصة وان اغلب إصدارات المجرات ذات الأنوية النشطة يكون في مجال الأشعة السينية. كما وجدنا انه يوجد تأخر وصدى لطيف الصادر عن ذرات الحديد الصادرة عن قرص التراكم لثقبها الأسود الفائق الضخامة، في حدود أجزاء من الثواني وهذا مع يتوافق مع دراسات سابقة.

كما قمنا بحساب الانزياح نحو الأحمر الاعظمي الجاذبي لطيف صادر عن ثقب اسود ذو كتلة نجمية (*GX 399 – 4*) واستنتاج نصف قطر التراكم للثقب الأسود انطلاقاً من العلاقة التراجعية بين الثقب الانزياح الأحمر الجاذبي ونصف قطر التراكم. فتحليل طيف المجرة *NGC 4151* قدم لنا الكثير من المعلومات حول المجرات ذات الأنوية النشطة.

المصادر

- [1] S M.Caroll :lecteur Notes on General Relativity .Institute for théoretical physics.University of California . December 1997
- [2]Malki ahmed : Dynamic cosmology in Non-Riemann space and dark energy .
thèse Magistar. University of Constantine 2011
- [3] James B. Hartle : Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity.
American Journal of Physics . Volume 71 September 2003
- [4] Lambourne R.J.A. Relativity, Gravitation and Cosmology.University of
Cambridge. 31 Jul 2010
- [5]ANDRES. B and HEINO. F : super massive black holes in the univers .Max
Planck –Institut for Radioastronomie ,Germany . 2005
- [6] Neil F .Comins : A la découverte de l'Univers .Introduction a l'astronomie et a
l'astrophysique. Bruxelles : De Boeck. 5 décembre 2011
- [7] Grzegorz Wardzinski : Radiative Processes In Accreting Black Holes . N.
Copernicus Astronomical Center Warszawa, April 2002
- [8] <https://www.nature.com/nature/journal>
- [9] DANIEL R. W. : Understanding X-ray Reflektion As probe Accreting Black
Holes . . University of Cambridge. May 2013
- [10] A. Tarchi : Narrow- line seyfert 1 galaxy : a, amasing class of AGN .
The Astronomy and Astrophysics Review, volume 532 . Août 2011

- [11] M. van der Krieger : Fourier Techniques in X-Ray Timing. Timing Neutron Stars
Volume 262 of the series NATO ASI Series pp 27-69
- [12] P. Uttley · E. M. Cackett : X-ray Reverberation Around Accreting Black
Holes . The Astronomy and Astrophysics Review, Volume 22. 20/08/14
- [13] A. C. FABIAN : Broad Iron Lines in Active Galactic Nuclei . University of
Cambridge. 2000. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume
112, 09/2000
- [14] <https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton>
- [15] <http://www.nustar.caltech.edu/>
- [16] Jacco Hoekstra : AE Tutorial Programming Python.
- [17] A. Zoghbi : Relativistic Iron K X-ray Reverberation in NGC 4151. Monthly
Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 422 . 05/2012
- [18] S. Yamada : Is The Black Hole In GX 339-4 Really Spinning Rapidly ? The
Astrophysical Journal Letters, Volume 707. 12/2009
- [19] Javier A. García : X-Ray Reflection Spectroscopy Of The Black Hole GX
339–4. The Astrophysical Journal, Volume 813. Sep 2015 .
- [20] : Exploring Black Holes With Chandra X –rays Observatory.

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة واحدة من أهم مسائل الفيزياء الفلكية وهي التغيرات الزمنية لطيف الأشعة السينية الصادرة عن قرص التراكم لثقب أسود فائق الضخامة.

قمنا بحساب التغيرات الزمنية لطيف المجرة النشطة NGC 4151 وهي من صنف مجرات سيفرت 1، في المجال الطاقوي (2-10) keV بالاعتماد على المعطيات المرصودة بواسطة المسبار XMM Newton . حيث قمنا باستخراج ودراسة منحنيات الضوء وحساب التأخر الزمني بين مختلف المجالات الطاقوية .

كلمات مفتاحية : أشعة سينية ، ثقب أسود فائق الضخامة ، قرص تراكم ، NGC 4151

Abstract

In this work, we studied one of the most important questions of astrophysics, namely the lag time of the X-ray spectrum emitted from the accretion disc of a supermassive black hole. We calculated the lag time for the active galactic spectrum of NGC 4151 in the (2-10) keV based on data from the XMM Newton. We extracted and studied the light curves and calculate the lag time between different energy interval

Keywords: x-ray, super massive black hole, accretion disc, NGC 4151

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié l'un des phénomènes les plus importants de l'astrophysique, les variations temporelles des rayons X émis à partir du disque d'accrétion de trous noirs super massifs. Nous avons calculé les variations temporelles du spectre du noyau actif de la galaxie NGC 4151 qui est une galaxie de Seyfert. Nous avons utilisé les données du satellite XMM-Newton , nous avons extrait et étudié les courbes de lumière et calculé le décalage entre différents intervalles d'énergie

Mots-clés: rayons X, trou noir super massif, disque d'accrétion, NGC 4151