الفصل الرابع

البحث عن الثقوب السوداء

يجب أن تكون موجودة

إن ما يعرفه علماء الفلك عن نشوء النجوم وارتقائها يقود إلى استنتاج حتمي: يجب أن تظهر الثقوب السوداء في نهاية حياة الأجسام السماوية الجسيمة. فكيف يجري ارتقاؤها. ولماذا تحصل مثل هذه النتيجة المحددة؟

تقع مادة نجم عادي مثل شمسنا مثلاً، تحت تأثير قوتين متعاكستين: الجاذبية، التي تعمل على تقليص النجم نحو المركز، وضغط الغازات المتوهجة التي تعمل على تمديده. ويحقق توازنها حالة استقرار النجم. ولكن النجم الحار يشع الطاقة عبر السطح بصورة متواصلة، وما لم يعوض هذا الفاقد، فإن النجم يفقد طاقته ويأخذ ينكمش. بيد أن هذا لا يحصل، لأنه تجري على مقربة من مركز النجم، حيث الحرارة عالية بما يكفي، تفاعلات حرارية نووية تترافق بعزل طاقة مهولة. وفي أثناء ذلك يتعرض الهدروجين والهليوم أولاً، ثم العناصر الأثقل كالكربون والأوكسجين، «لاحتراق» نووي. وهذه التفاعلات الحرارية النووية، هي التي تشكل مصدر طاقة النجوم التي تشعها في الفراغ.

ومع مرور الزمن يستنفذ مخزون الطاقة النووية في النجم. ويتحدد زمن تواصل «الاحتراق النووي (الطور النشط في حياة النجوم)، بسرعة فقدان الطاقة بالإشعاع، وبمقدار مخزون الطاقة النووية. ويرتبط هذا وذاك بكتلة النجم. ولذلك فإن مدى حياة النجم يتحدد أيضاً بكتلته. فالنجوم التي تساوي كتلتها كتلة الشمس تعيش حوالي عشرة مليارات عام. أما النجوم الأكثر جسامة، فإنها تعيش أقل. فالنجم الذي كتلته

ثلاثة أضعاف كتلة الشمس مثلاً، يعيش مليار عام، والنجم الذي كتلته عشرة أضعاف كتلة الشمس، لا يعيش سوى مائة مليون عام.

وعندما تنفذ الطاقة النووية كلها، تفضي مواصلة النجم إشعاع الطاقة إلى بدء انكماشه بالتدرج. وإذا ما كانت كتلته لا تكبر كتلة الشمس بأكثر من 1.2 مرة، فإن عملية الانكماش تنتهي عندما يشكل نصف قطر النجم بضعة آلاف الكيلومترات. وقد تصل كثافة المادة في غضون ذلك إلى 109غ/سم^3. وقد دعي مثل هذه النجوم *بالأقزام البيضاء*. وهي نجوم معروفة لعلماء الفلك منذ زمن بعيد.

وبعد أن يتحول النجم إلى قزم أبيض، يبرد من غير أن تنقص أبعاده تقريباً. فضغط الغاز الذي يعيق تقدم عملية انكماش القزم البيض، تؤمّنه القوى الكوانتية التي تظهر بين البلازمات الإلكترونية المتزاحمة التي يتشكل النجم منها. وفي شروط النجم، فإن هذا الضغط لا يرتبط بأي شكل من الأشكال بحرارة مادته. ولذلك يمكن أن يبرد القزم الأبيض تماماً ويتحول إلى قزم أسود من غير أن يبدل حجمه.

أما إذا كانت كتلة النجم تكبر كتلة الشمس بأكثر من 1.2 مرة، فإن كثافة المادة في أثناء انكماشه تفوق 109غ/سم^3. فتظهر في ظل مثل هذه الكثافة تفاعلات نووية تستهلك كثيراً من الطاقة، الأمر الذي يؤدي إلى خلل في التوازن بين قوى الجاذبية والضغط، فيبدأ النجم ينزع نحو الانكماش باندفاع لا يوقفه شيء.

وفي أثناء عملية الانكماش هذه، يمكن أن يحدث انفجار نووي نرصده نحن ونراقبه بصفته انفجار نجم جديد. وفي غضون ذلك يرمي النجم غلافه ويتحول إلى ما يدعي بالنجم النيتروني. فتضغطه قوى الجاذبية إلى درجة تغدو فيها الكثافة في مركز النجم شبيهة بالكثافة النووية 1014-1015غ/سم^3.

والنجم النيتروني، هو نواة ذرية فريدة، قطره حوالي العشرة كيلومترات. والذرات النووية في مثل هذا النجم (النوكلونات)، مضغوط بعضها إلى بعض بتراص شديد. وإذا كانت كتلته لا تكبر كتلة الشمس بأكثر من مرتين، فإن الغاز النوكلوني قادر بالقوى الكوانتية على منع انكماش النجم. إن هذه، هي الحالة

النهائية لهذا النجم المبترد. والحقيقة أن استخدام مفهوم البرد بالنسبة للنجم النيتروني، أمر لا يصح إطلاقاً من وجهة نظر التصورات الأرضية. ففي مثل هذا الغاز الشديد الكثافة ينبغي ألا يؤثر الدفء بأي حال من الأحوال على مقدار الضغط، حتى لو كانت درجة حرارة الغاز بمئات ملايين الدرجات. ولذلك، وعلى الرغم من أن الفيزيائيين الفلكيين يدعون النجم النيتروني بالنجم البارد، إلا أن الحرارة في مركزه يمكن أن تبلغ مئات ملايين الدرجات، وعلى سطحه مليون درجة.

لقد بحث الفلكيون طويلاً عن النجوم، لكن بحثهم لم يحقق أي نجاح. وهذا أمر طبيعي تماماً. فلا يمكن رؤية نجم نصف قطره عشرة كيلومترات وحرارته مليون درجة، إلا بأكبر التلسكوبات، شريطة أن يكون النجم المعني قريباً منا بما يكفي. ويكمن جوهر الأمر هنا في أن السطح المشع للنجوم النيترونية صغير جداً، وهي كقاعدة، تطلق ضوءاً مرئياً أضعف بمليون مرة من ضوء شمسنا. ولكن حتى لو رأينا النجم النيتروني، يبقى السؤال: كيف نميزه عن النجوم العادية الضعيفة.

كما كانت ثمة محاولات لاكتشاف النجوم النيترونية عبر تأثير جاذبيتها على أقرب النجوم إليها. لكن رصد وجود النجم النيتروني الضعيف في نظام مزدوج متراص، أمر غير ممكن: إنه يغرق في الضوء المبهر لجاره. بيد أن للنجوم النيترونية الكتلة نفسها التي لأكثر النجوم الأخرى. وقد حاول الفلكيون أن يبحثوا في النظم الازدواجية عن نجوم ذات كتل طبيعية، لكن إضاءتها ضعيفة جداً. فلم تتكلل محاولاتهم بأي نجاح.

في العام 1967 اكتشف الفلكيون الإنكليز بمحض المصادفة، نجوماً نيترونية، بعد أن مر ثلاثة وثلاثون عاماً على التكهن بوجودها نظرياً. فقد تبين أنه ثمة على مقربة من سطح النجوم النيترونية التي تملك حقلاً مغناطيسياً قوياً، مناطق نشطة تشع سيولاً من الموجات اللاسلكية الموجهة. فهذه المنطقة النشطة تدور مع سطح النجم، وتطلق حزمة من الموجات اللاسلكية الموجهة، تماماً كما لو أنها مصباح كاشف دوار. فتنطلق الحزمة تعدو عبر السماء، وعندما تسقط على الأرض، نرى وميض نشاط إشعاعي يحدث بعد فواصل زمنية متساوية تتوافق مع مرحلة دوران النجم. وهذا الوميض، هو ما سجله الفلكيون الإنكليز.

لقد كانت ومضات النشاط الإشعاعي التي تطلقها النجوم الخوانس، تتواتر بفاصل قصير جداً (حوالي الثانية الواحدة وأقل). ولا يمكن أن يكون هذا زمن دوران سوى نجم لا يتجاوز قطره بضع عشرات الكيلومترات. والواقع أن مثل هذا الدوران السريع لنجم قطره ألف كم (القزم الأبيض مثلاً)، سوف يؤدي إلى تمزيقه من قبل قوى الطرد المركزي، أما النجم النيتروني الصغير، فإن مثل هذا الدوران السريع لا يتجاوز حد صلابته. هكذا تم البرهان على أن الخوانس، هي نجوم نيترونية.

إن الخانس هو الطور الأخير من الحياة النشطة التي يحياها نجم كتلته ليست كبيرة جداً: أصغر بمرتين تقريباً من كتلة الشمس.

ولكن في الكون الواقعي يحيط بالنجم الغاز المتوضع بين النجوم. ويتساقط هذا على النجم، فيتسخن لدى اصطدامه بسطحه ويطلق أشعة رونتجين. وإذا كان النجم النيتروني يدخل في نظام نجمي مزدوج، وكان جو النجم الثاني (الطبيعي) يطلق غازاً، فإنه قد يتساقط في حقل جاذبية النجم النيتروني. وفي هذه الحال، فإن تيار الغاز وكثافة إشعاع رونتجين يغدوان عظميين جداً. وكان مثل هذه «الخوانس الرونتجينية» قد اكتشف في النظم المزدوجة.

إذن، لقد تم البرهان قطعاً على وجود النجوم النيترونية. بيد أن الحسابات تظهر أنه إذا كان النجم يمتلك بعد نفاذ الطاقة النووية، والانكماش وسوى ذلك من عمليات رمي الأغلفة الخارجية، كتلة أكبر من الحد الحرج، تساوي كتلتي الشمس تقريباً، فإنه حتى تأثير قوى الضغط المهولة لمادة نووية خارقة الكثافة، لن يوقف عملية انكماشه، ويغدو تحوله إلى ثقب أسود في خاتمة ارتقائه أمراً حتمياً.

والحقيقة أنهم طرحوا أحياناً فكرة مؤداها، أن النجوم الجسيمة قد ترمي في خاتمة ارتقائها قسماً كبيراً من كتلتها إلى الفراغ، ويتحول الباقي الذي كتلته أقل من الحد الحرج، إلى قزم أبيض أو نجم نيتروني. غير أن أكثر العلماء يرى في طريق الارتقاء هذه طريقاً مصطنعة جداً واحتمال سلوكها ضئيل. ولذلك فإننا نصل إلى نتيجة نقول فيها، إن ظهور الثقوب السوداء أمر حتمي في المراحل الأخيرة من ارتقاء النجوم الجسيمة.

والآن، هل يمكن أن توجد في الكون ثقوب سوداء ذات منشأ آخر غير المنشأ النجمي؟ على أغلب تقدير نعم. ونحن سوف نطلع فيما يأتي على هذه الإمكانات التي غالباً ما تكون طريفة وغريبة. ولكن الاستنتاجات بوجود ثقوب سوداء غير نجمية، هي استنتاجات أقل تأكيداً من حتمية ظهور الثقوب السوداء في مسيرة ارتقاء النجوم الجسيمة. ضف إلى هذا، أن ثقباً أسود واحداً في أقل تقدير من الثقوب النجمية المنشأ، قد اكتشفه الفلكيون حتى الآن. ولهذا السبب نرجئ بحث مسألة الثقوب السوداء غير النجمية المنشأ الآن، ونلتفت إلى مسألة البحث عن الثقوب السوداء النجمية المنشأ.

كيف نبحث عن الثقوب السوداء؟

قبل بداية ستينيات القرن العشرين لم يحاول أي من الفلكيين أن يدير بحثاً جدياً عن النجوم النيترونية، فما بالك بالثقوب السوداء. فقد افترضوا بصمت، أن هذه الأجسام شديدة الشذوذ، وهي على أرجح تقدير ليست سوى اختلاق العلماء النظريين. وثمة من آثر عدم الحديث عنها قط. ولكن بعضهم كان ينوه تنويهاً ضعيفاً إلى أنها يمكن أن تتشكل، إلا أن هذا لن يقع على أغلب الظن. وفي الأحوال كلها، حتى لو كانت موجودة فإن اكتشافها مستحيل.

غير أن هذه الأجسام الشديدة الغرابة، أحدثت خللاً في لوحة الكون المعتادة بالنسبة لعلماء الفلك. وفيما يتعلق بالثقوب السوداء كان أكثر الفلكيين يومئ برأسه ارتياباً. ولم تكن ثمة حتى تسمية متفق عليها لهذه الأجسام. وكان بين من لم يؤمن بإمكانية وجود الثقوب السوداء، عالم الفلك الإنكليزي أ. إيدينغتون (1882-1944). وكانت طريق هذا الفلكي إلى علم الفلك طريقاً كلاسيكية. فقد بدأ كفلكي راصد في مرصد غرينويتش، واهتم كثيراً بمسائل إحصاء حركات النجوم. وفي العام 1914 تسلم إيدينغتون إدارة مرصد جامعة كمبردج، وتركزت اهتماماته العلمية كلها على مسائل الفيزياء الفلكية التي كانت قد بدأت وقتئذ تتكون بصفتها علماً مستقلاً.

ومن الصعب تقدير أهمية مساهمات إيدينغتون في علم فيزياء الفلك. فقد كان أول من فهم العمليات الأساسية التي تحدد التركيب الداخلي للنجوم، وطرح الفكرة الأهم التي مؤداها أن الطاقة تنتقل من أعماق النجم إلى سطحه انتقالاً أساسياً عن طريق «تسرب» الضوء ببطء عبر الغاز غير الشفاف، وليس عن طريق تيارات النقل، كما هي حال الماء الذي يغلي في القدر على الموقد. ومنذ العام 1916، حينما لم تكن ثمة فكرة بعد عن التفاعلات النووية، بيّن إيدينغتون أن مصدر طاقة النجوم لا يمكن أن يكون انكماشها التدرجي الذي يترافق بتسخينها، كما ظنوا وقتئذٍ، إنما ينبغي أن تكون هناك تحولات عميقة للمادة، وقد أطلق على تلك التحولات اسم التحولات الشبه الذرية. واشتغل إيدينغتون في دراسة نبضان النجوم، وتركيب محيطها الجوي وكثرة كثيرة من مسائل الفيزياء الفلكية الأخرى.

كما كان إيدينغتون من أوائل الذين فهموا عمق نظرية النسبية العامة وجديدها. وقاد في العامة 1919 البعثة التي قاست لأول مرة حيد أشعة الضوء في حقل جاذبية الشمس أثناء كسوف كامل لهذه الأخيرة، وقد جاء قياسه متوافقاً تماماً مع تكهنات نظرية أنشتاين. وحازت مساهماته العلمية على اعتراف عام: لقد كان رئيس الجمعية الفلكية اللندنية، ورئيس الجمعية الفيزيائية اللندنية، ورئيس الاتحاد الفلكي الدولي، وعضواً في كثير من أكاديميات العلوم، بما فيها أكاديمية العلوم السوفيتية.

ومع ذلك لم يستطع هذا العالم أن يألف فكرة كون النجم الجسيم بما يكفي، يجب في نهاية المطاف أن يفقد استقراره وينكمش انكماشاً مدمراً. وقال تشاندراسيكهار، إن إيدينغتون رأى أن انهيار النجم الذي في أثنائه «تشتد قوة الجاذبية إلى درجة أنها تخنق الإشعاع»، أي يظهر الثقب الأسود، هو أمر غير ممكن.

ويرى تشاندراسيكهار أن الموقف السلبي الصارم الذي اتخذه هذا الفلكي الشهير، قد أعاق تقدم علم الفيزياء الفلكية النسبية عشرات الأعوام. فأين يكمن الأمر هنا؟ لماذا عجز مثل هذا العالم المرهف تجاه كل شيء، عن أن يدرك أهمية مثل هذه الفكرة المهمة ويقدرها حق التقدير؟

يبدو أن الفيزيائي الفلكي السوفيتي إ. شكلوفسكي كان على حق إذ قال، إن إيدينغتون بالغ في حبه للنجوم التي منحها حياته كلها (حياة إنسان وحيد، حياة عجوز

عازب وقور). لقد بنى إيدينغتون نظرية توازن النجوم واستقرارها، وهنا ثمة كارثة... انهيار... إنه أمر غير ممكن من وجهة نظره؛ وهذا ما أكده مراراً. لقد كان ينبغي على الطبيعة أن «تبتكر» وسيلة ما للحفاظ على المادة الكونية من مثل هذه النهاية البائسة! وخلص إ. شكلوفسكي إلى القول: «ليس عبثاً أن قالوا، إن عيوبنا هي استمرار لجدارتنا».

وحتى في آخر الخمسينيات، عندما كنت طالباً في قسم الفلك بجامعة موسكو، لم يقل لنا أي بروفسور ممن كانوا يدرسوننا، لو مرة واحدة، إلى ماذا يتحول النجم الجسيم بعد موته. وقد يكون مفهوم موت نفسه قد أدى دوراً هنا، فلا أحد يريد أن يتحدث عنه عادة. ولذلك كان موت النجم أيضاً، ضرباً من ضروب «الموضوعات التي لا يجوز بحثها في مجتمع محترم».

وعلاوة على ذلك كان ثمة دور في هذا لغرابة للثقوب السوداء، وصعوبة مفاهيم نظرية النسبية العامة التي لم تحظ بتقدير لدى الجيل القديم من الفلكيين.

ولكن جملة من الاكتشافات التي حصلت في الستينيات، أرغمت علماء الفلك على تغيير رؤيتهم حيال كثير من العمليات التي تجري في الكون. فقد اكتشفت النوى النشطة للمجرات والكوازارات (= QUASAR: جسم كوني بعيد جداً، يعدّ مصدراً لنشاط إشعاعي شديد القوة -م)، التي تشع طاقة أقوى مما يشعه مليار نجم؛ وتم الكشف كذلك عن نشاط إشعاعي باق في الكون منذ الومضات الأولى لبدء تمدده. وبعد هذا كله لم تعد النجوم النيترونية والثقوب السوداء تبدو أجساماً شديدة الغرابة. وأخير اكتشفت في العام 1967 النجوم النيترونية: الخوانس. وها قد جاء دور الثقوب السوداء. ولكن كيف السبيل إلى اكتشافها؟ فهي لا تضيء ولا تعكس الضوء؟

ولكن علماء الفلك كانوا قد كوّنوا خبرة مهمة عن إشعاع الأجسام غير المشعة. ومن هذه على سبيل المثال، السدم الغبارية المظلمة. فهي تظهر كبقع سوداء على خلفية النجوم أو السدم الغازية المضيئة. ولكن السدم الغبارية عبارة عن أجسام أحجامها مهولة، بينما الثقوب السوداء النجمية المنشأ، لا يتجاوز قطر واحدها العشرة كيلومترات. وبما أنها تنشأ عن نجوم جسيمة، فإن أقرب ثقب أسود إلينا يجب أن يكون متوضعاً على بعد عشرات السنين الضوئية. وعليه فإن الأبعاد الزاوية المرئية لمثل

هذا الثقب الأسود، يجب أن تشكل 0.00000001 ثانية زاوية، ورؤيته كنقطة مظلمة أمر غير ممكن إطلاقاً.

إن الثقب الأسود يجب أن يحرف أشعة الضوء العابرة على مقربة منه. ولكن كي يكون هذا التأثير ملحوظاً بما يكفي، ينبغي أن يكون توضع مصدر الضوء، والثقب الأسود، والمراقب منتقى انتقاء خاصاً جداً بحيث ينعدم مجرد الظن بتحقيق هذا الحدث بالمصادفة أو عرضاً.

وتبقى مسألة استخدام واقع أن الثقوب السوداء تملك كتلاً تساوي كتل النجوم الكبيرة، وهي نفسها لا تضيء. فعلى هذه الشاكلة بالضبط قارب البحث عن الثقوب السوداء في العام 1964، الفيزيائيان الفلكيان السوفييتيان أو غصينوف ويا. زيلدوفيتش. لقد اقترحا أن يجري البحث عن الثقوب السوداء في النظم النجمية الازدواجية، مفترضين أنه ثمة نظم أحد نجميها طبيعي ويضيء، والآخر عبارة عن ثقب أسود. ويجب أن يدور الجسمان حول المركز المشترك للكتلتين. بيد أن الثقب الأسود غير مرئي، فيبدو العنصر الآخر كأنه يدور حول «لا شيء».

ومن البدهي أن رؤية الحركة المدارية المباشرة للنجم عن مسافة كبيرة، أمر غير ممكن بأي تلسكوب كان. لكن يمكن أن تستخدم لهذا الغرض طريقة خاصة شائعة شيوعاً واسعاً في الفيزياء الفلكية. فعندما يتحرك النجم على مداره، يقترب إلينا، وتتحول الخطوط في طيفه إلى الجهة البنفسجية، وعندما يبتعد، تتحول إلى الجهة الحمراء. ومنذ زمن بعيد كان الفلكيون قد عرفوا ما يدعى بالنجوم الطيفية المزدوجة، وكانت ازدواجيتها قد اكتشفت بالطريقة التي وصفناها هنا. ففي النظم الطيفية المزدوجة التي تتألف من نجوم عادية، إذا تحرك أحد النجوم مقترباً منا، وتحرك الآخر مبتعداً عنا، فإن الخطوط سوف تتحول باتجاهين متعاكسين. وغالباً ما تشاهد تحولات دورية للخطوط في طيف نجم واحد فقط، أما الخطوط في طيف النجم الآخر فلا تكون مرئية أصلاً. وقد بدا كأنه ينبغي أن يشتبه هنا في وجود ثقب أسود. بيد أن هذا يفسر في أغلب الأحيان بكون النجم الآخر أضعف من الأول بكثير، مع أنه يضيء؛ إلا أن ضوءه يغرق في ضوء جاره المبهر، ولذلك فقط يبقى هو غير مرئي.

ولكن النجم المنطفئ يمكن أن يصبح قزماً أبيض أيضاً، ونجماً نيترونياً. ولذلك لكي نميز الثقب الأسود بين النجوم المنطفئة ونحدده، ينبغي إضافة إلى ذلك أن نبرهن أن كتلة التابع غير المرئي أكبر من الكتلة الحرجة (= كتلتين شمسيتين). وكما نعلم فإن كتلة القزم الأبيض لا يمكن أن تتجاوز 1.2 كتلة الشمس، وكتلة النجم النيتروني، 2 كتلة الشمس. إذن، إذا كانت كتلة النجم المنطفئ أكبر من المدلول الحرج وتشكل، لنقل، خمسة أضعاف كتلة الشمس، فإن هذا لا يمكن أن يكون سوى ثقب أسود.

وعملاً بهذه الإرشادات، بدأ عندنا في البلاد ثم في الولايات المتحدة الأمريكية، البحث عن الثقوب السوداء في النظم الطيفية المزدوجة. لكن تلك المحاولات لم تفض إلى نتيجة. ففي النظم الطيفية المزدوجة المشتبه بها كلها، أمكن تفسير عدم ظهور التابع تفسيراً طبيعياً من غير الحاجة إلى اللجوء إلى الثقوب السوداء. وقد تبين أن وسيلة البحث المقترحة شديدة الصعوبة، لأن «السواد» المكتشف بطريقة جانبية، يمكن إيجاد تفسير له دائماً تقريباً: لماذا هو أسود. بل إن «عدم الظهور» يمثل على وجه العموم برهاناً سيئاً على وجود أي شيء كان. ويبدو هذا على شاكلة الطرفة القديمة عن تسمية أطروحة التخرج: «يعد غياب أعمدة التلغراف وأسلاكها في الأبحاث الآثارية دليلاً على وجود الاتصالات اللاسلكية لدى الشعوب القديمة».

ثم تبين عدا عن ذلك، أن الوسيلة الموما إليها، هي من حيث المبدأ قلما يمكن أن تؤدي إلى نجاح. وكان سبب ذلك يرتبط بالطابع الخاص لارتقاء النجوم في النظم الازدواجية المتراصة. فقد ظهر أن الغاز في أثناء الارتقاء يجب أن يتسرب من نجم إلى الآخر، فتكون النتيجة أن النجم الأكثر جسامة في أول الأمر، عندما ينهي عملية ارتقائه ويتحول إلى ثقب أسود، يعطي قسماً من كتلة للنجم الأقل جسامة. ثم يظهر في خاتمة المطاف أن النجم المرئي يمتلك كتلته أكبر من كتلة الثقب الأسود الذي ظهر في بادئ الأمر. ولا يمكن في مثل هذا النظام الازدواجي أن نحدد، لماذا يكون النجم غير المرئي نجماً عادياً تارة، لكنه يضيء أضعف من جاره (لأن كتلته أقل)، ونجماً مطفأ تارة أخرى ويمكن أن يكون ثقباً أسود.

لقد كان من الضروري العثور على ظاهرات فيزيائية يعلن فيها الثقب الأسود عن نفسه بوضوح ودقة. وقد عثر فعلاً على مثل هذه الظاهرة، إنها ظاهرة تساقط الغاز في حقل جاذبية الثقب الأسود.

فالفراغ الذي بين النجوم مليء بسدم غازية. وإذا كان الثقب الأسود يقع في هكذا سديم، فإن الغاز سوف يتساقط في حقل جاذبيته. وعلاوة على ذلك هناك في الغاز المتساقط حقل مغناطيسي، وتتطور في أثناء عملية التساقط حركات عاصفة. ويجب أن تتحول طاقة الحقل المغناطيسي للغاز في أثناء التساقط، إلى دفء. أما الإلكترونات «التي سخنت»، فإنها تشع أثناء حركتها في الحقول المغناطيسية، موجات الكترومغناطيسية. وعلى مقربة من دائرة أفق الثقب الأسود، تدخل فعاليات نظرية النسبية العامة في لعبة. فيستولي الثقب الأسود على قسم من الإشعاعات. ويمضي القسم الأساس من الإشعاع، وهو القسم الذي يظهر للمراقب البعيد، يمضي من مسافة عدة درجات جاذبية. إذن على مقربة من الثقب الأسود، قبيل السقوط فيه، يشع الغاز المسخن طاقة في الفراغ المحيط. وربما يكون هذا الإشعاع كافياً لاكتشاف الثقب الأسود من مسافة بعيدة؟

ويرتبط الكم الكلي للإشعاع بكم الغاز المتساقط، وفي الشروط المثالية بالنسبة للوسط القائم بين النجوم، فإن إضاءة الغاز المتساقط في الثقب الأسود تعادل إضاءة النجوم العادية السطوع. وهذا يعني أن العثور على الثقوب السوداء بهذه الوسيلة أمر صعب جداً، لأنها مفقودة بين كم مهول من النجوم الضعيفة. والحقيقة أن الحركات الإعصارية في الغاز المتساقط على الثقب الأسود، تؤدي إلى تقلبات سريعة في السطوع مع تواصل يتراوح بين مئات وعشرات آلاف أجزاء الثانية.

وكان الفيزيائي الفلكي السوفيتي ف. سفارتسمن قد اقترح في أواخر الستينيات هذه الوسيلة بالذات للبحث عن الثقوب السوداء. وأنشأ مع زملائه في المرصد الفيزيائي الفلكي المتخصص التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية، مجمعاً كاملاً من الأجهزة، لتحقيق هذا الغرض أطلقوا عليه اسم: «المحلل الكثير

القنوات لنبضات تبدل السطوع في أجزاء الثواني»، أو اختصاراً: *مانيا*. وقد ظهر أن هذه التسمية كانت تسمية اصطلاحية. لقد صرفت سنوات كثيرة من العمل المضني على التصميمات، ثم إنشاء الأجهزة وتأهيلها، وبعد ذلك أعمال الرصد التجريبية، وأخير البحث... لقد سار ف. شفارتسمن طويلاً على طريق صانع التجارب هذه، بصبر وتصميم خرافيين. ولكن مشاهدات طريفة تحققت في مجرى العمل، تتعلق بمختلف الأجسام السماوية. أما الثقوب السوداء، فقد بقيت مع الأسف مفقودة...

هل استطعنا العثور على الثقوب السوداء؟

في العام 1966 جرى اقتراح وسيلة أخرى للبحث عن الثقوب السوداء. ولكي نوضحها نجيب أولاً على سؤال: لماذا يكون سطوع الغاز المتساقط على الثقب الأسود ضعيفاً نسبياً؟

يكمن الأمر هنا في أن كثافة الغاز ضعيفة في الفراغ الذي بين النجوم، وبالتالي لا يتساقط منه على الثقب الأسود إلا القليل. ولكن هل يمكن أن تتحقق في المجرة شروط يتزايد فيها تساقط الغاز؟

نعم! يمكن أن تتحقق مثل هذه الشروط، مثلاً، إذا ما دخل الثقب الأسود قوام نظام زوجي شديد التلاصق، حيث يكون فيه النجم الثاني نجماً عملاقاً عادياً. ففي مثل هذه الحال سوف يتسرب إليه الغاز من غلاف النجم العادي تياراً جباراً، تحت تأثير جاذبية النجم الشريك. ونحن كنا قد تحدثنا عن هذه العملية عندما ناقشنا الخوانس الرونتجينية في النظم النجمية الزوجية.

فالغاز في مثل هذا النظام الزوجي لا يمكنه أن يتساقط هكذا ببساطة على الثقب الأسود: بسبب وجود الحركة المدارية يلتف مشكلاً قرصاً حول الثقب الأسود. ونتيجة لاحتكاك طبقات الغاز يسخن حتى تصل حرارته 10^7 درجة (قبل أن يسقط في الثقب الأسود). وعند هذه الحرارة يطلق الغاز أشعة رونتجين.

وبناء على هذا ينبغي البحث عن الثقوب السوداء بصفتها مصدراً لأشعة رونتجين في بنية النظم النجمية الزوجية، حيث يمكن أن تكون موجودة إلى جانب النجوم النيترونية. وكان الأكاديمي يا. زيلدوفيتش وأنا قد وضعنا هذا التكهن في العام 1966 مباشرة بعد اكتشاف المصادر الرونتجينية الأولى. وفي العام 1967، بعد أن وضع إ. شكلوفسكي التكهن نفسه، أنشأ لوحة فيزيائية فلكية مفصلة للعمليات التي يجب أن تجري في مصادر الأشعة الرونتجينية في النظم النجمية الزوجية.

وللبحث عن المصادر الرونتجينية لا بد بالضرورة من إخراج التلسكوبات الرونتجينية خارج حدود المحيط الجوي، ولإجراء أعمال رصد طويلة الأمد، ينبغي تركيبها على أقمار صناعية (لأن السفن الفضائية لا تبقى طويلاً في الفضاء). وبمساعدة مثل هذا التلسكوب الذي جرى تركيبه على القمر الصناعي «أهورا»، اكتشفت في العام 1972 مصادر رونتجينية في النظم النجمية الزوجية. وقد أخضعت هذه لدراسة دقيقة بمساعدة أجهزة وضعت على أقمار صناعية سوفيتية، وسفن فضائية سوفيتية مأهولة.

وبذا يكون قد بدأ عصر علم الفلك الرونتجيني. ولا شك في أن هذا الميدان العلمي المثير يستحق مؤلف خاص مكرس له، إلا أن ما يهمنا الآن، هو المصادر الرونتجينية في النظم النجمية الزوجية. فقد كان بينها نجوم تبدل سطوعها تبديلاً دورياً صارماً بفاصل ثانية واحدة تقريباً. ومن الواضح أن هذه لا يمكن أن تكون ثقوباً سوداء. إنها نجوم نيترونية دوارة تملك حقلاً مغناطيسياً، وقطبين مغناطيسيين لا يتطابقان مع قطبي محور دوران النجم. فالغاز يتساقط هنا على القطبين المغناطيسيين على طول خطوط القوة المغناطيسية، فيظهر نتيجة لذلك إشعاع رونتجيني موجه. ويجعل الدوران من هذه الأجسام ما يشبه الأضواء الكاشفة الرونتجينية الدوارة. ولكن ليس للثقب الأسود كما رأينا، أي بقع نشطة على سطحه، وهو لا يمكن أن يفضي إلى ظهور الضوء الكاشف. غير أن خثرات الغاز الحار في القرص الغازي على مقربة من الثقب الأسود، يمكن أن تعطي ومضات دورية أثناء دورانها في المناطق الداخلية. ولكن هذه الفترة يجب أن تتغير بسرعة

ملحوظة تغيراً شديداً ، فالخثرة ليست ملتصقة بقوة إلى هذا الشيء الذي يدور، وبسبب الاحتكاك تقترب رويداً رويداً من النجم (نتيجة لذلك تتقلص فترة الدوران).

وعلى هذا النحو يجب أن تكون الثقوب السوداء واقعة بين المصادر الرونتجينية في النظم الزوجية التي ليست خوانس. ونشير أولاً إلى أن هذه المصادر لا يمكن أن تكون نجوماً عادية. فلكي يسخن الغاز إلى درجة حرارة كافية لإطلاق أشعة رونتجين، يجب أن يكون حقل الجاذبية الذي يتحرك فيه كبيراً جداً. ولا تتوفر على مثل هكذا حقول سوى النجوم المتراصة (المتقلصة) «الميتة»: الأقزام البيض، والنجوم النيترونية، أو الثقوب السوداء. ولكن كيف نعزل الثقوب السوداء تحديداً من بين النجوم «الميتة»؟

إننا نعرف أن المقياس الأكيد لهذا، هو قياس الكتلة. فإذا كانت كتلة النجم «الميت» أكبر من المدلول الحرج لضعف كتلة الشمس، فهذا يعني أننا أمام ثقب أسود. أما عملية قياسه فيمكن أن تتم حسب الحركة المدارية للنجوم في النظام الزوجي. وقد تبين أن واحداً على الأقل من المصادر الرونتجينية التى عثر عليها، له كتلة أكبر بكثير من المدلول الحرج. ويتوضع هذا المصدر في برج البجعة، فأطلقوا عليه اسم البجعة x-1.

إن النجم الطبيعي المرئي في هذا النظام الزوجي، يعد نجماً جسيماً كتلته تعادل ما يقارب 20 كتلة شمسية. وهذا أكبر بكثير من المدلول الحرج. وتجعل الأبحاث الجديدة الكثيرة من هذه النتيجة نتيجة واعدة أكثر فأكثر. ولذلك فإننا نستطيع القول بدرجة كبيرة من الثقة، إن النظام الذي يدخل فيه المصدر البجعة x-1، ربما يحتوي على أول ثقب أسود تم اكتشافه في الكون.

لنناقش الآن بشيء من التفصيل، العمليات التي تحدث في هذا النظام. فعنصرا النجم الزوجي يدوران حول مركز الكتلتين في 5.6 يوم. والثقب الأسود الذي كتلته حوالي 10 كتل شمسية يجذب إليه الغاز من المحيط الجوي للنجم العملاق «الطبيعي» الذي تبلغ كتلته 20 كتلة شمسية. فيدور هذا الغاز بحركة مدارية، فتسطحه قوى الطرد المركزي والجاذبية في قرص.

وبسبب احتكاك الطبقات المجاورة تتحرك تيارات الغاز حول الثقب الأسود على حلزون صاعد نحو المركز. ولكن سرعة الحركة صوب المركز أضعف بكثير من سرعة الحركة على المدار. وبعد شهر فقط يصل الغاز إلى أقرب أطراف القرص الداخلية إلى الثقب الأسود. وهنا كما نعرف، تصبح الحركة المدارية غير مستقرة، فيتساقط الغاز في الثقب الأسود.

وفي خلال زمن الرحلة في القرص، يتسخن الغاز بالاحتكاك: في الطبقات الخارجية للقرص، لا تتجاوز حرارته عدة عشرات آلاف الدرجات، أما في الأقسام الداخلية، فهي تتجاوز العشرة ملايين درجة. ويفوق السطوع الرونتجيني لهذا الغاز السطوع الكامل للشمس (في مناطق الطيف كلها)، بألف مرة. ويأتي الجزء الرئيس من الإشعاع الرونتجيني الذي يرصد على الأرض، من أكثر الأقسام عمقاً لقرص لا يتجاوز نصف قطره المئتي كيلومتر. أما مدى الثقب الأسود نفسه، فهو حوالي 30 كم.

وهاكم برهاناً آخر على أن الإشعاع الرونتجيني في المصدر البجعة x-1، ينشأ في منطقة صغيرة جداً قرب الثقب الأسود، عن التقلبات العشوائية الفائقة السرعة للإشعاع الرونتجيني، والتي تتواتر كل جزء من ألف جزء من الثانية. ولو كان الجسم المشع أكبر لما استطاع أن يبدل سطوعه بمثل هذه السرعة.

وهذا هو المصدر المدهش لأشعة رونتجين الذي يقع على بعد ست سنوات ضوئية عنا.

لقد مضى الآن أكثر من عشر سنوات (نذكر القارئ بأن الكتاب الذي بين يديه صدر منذ العام 1985-م)، على اكتشاف المصدر البجعة x-1. وقد درس دراسة دقيقة. فلماذا إذن نتحدث بهذا الحذر كله عن اكتشاف «محتمل» لثقب أسود؟

يقول المتخصصان الأمريكيان ر. بليندفورد وك. ثورن: «في الحالة العادية كان الفلكيون سيقبلون هذه النتيجة، ولكن بما أن الأمر يتعلق الآن بمصير أول اكتشاف إنساني للثقب الأسود، وبما أن الأخطاء التصنيفية التي قد لا تلاحظ في الوقت المناسب، يمكن أن تهدم أحياناً الاستنتاجات الصلبة، لذلك يتريث

الفلكيون ويبدون الحذر. وقبل أن يتم الحصول على برهان إضافي مستقل، برهان إيجابي على الأرجح وليس سلبياً على نمط، وما الذي يمكن أن يكونه هذا إذن؟ فإنهم لا يريدون التأكيد على أن البجعة x-1، هو ثقب أسود فعلاً».

لقد اكتشف في السنوات الأخير مصدران - ثلاثة مصادر أيضاً تشبه البجعة x-1 وتعد مرشحة لأن تكون ثقوباً سوداء. ولكنها لا تزال مرشحة وحسب...

كم من الثقوب السوداء في مجرتنا؟ وهل من خطر في لقاء أحدها والسقوط في هذه اللجة؟

من الصعب أن نعطي إجابة دقيقة على السؤال الأول، لأنه من غير المعروف أي قسم من النجوم الجسيمة يدمر كلياً في آخر حياته في الانفجار الحراري النووي أثناء عملية الانهيار، وفي أي أقسامها تبقى مع ذلك نواة جسيمة بما يكفي لتتقلص في ثقب أسود. ويرى أكثر علماء الفلك أن عدد الثقوب السوداء في المجرة ينبغي أن يكون بالملايين، إذا لم يكن بالمليارات.

أما فيما يتعلق بالسؤال الثاني، فإن القارئ نفسه يمكن أن يكون قد أجاب عليه: ليس هناك أي خطر من الاصطدام عرضاً بنجم جسيم ميت. فالنجوم يقع واحدها بعيداً عن الآخر في الفراغ إلى درجة أن إمكانية وقوع اصطدام بينها لا تؤخذ بالحسبان أصلاً. فما بالك بإمكانية الاصطدام مع الثقب الأسود الذي حجمه أصغر بكثير من النجم. ضف إلى هذا أن جزءاً صغيراً جداً من نجوم المجرة كلها، يتحول إلى ثقوب سوداء.

ثقوب سوداء عملاقة

لقد تحدثنا حتى الآن عن الثقوب السوداء النجمية المنشأ، التي تظهر في الكون. ولدى علماء الفلك الأسس كلها لكي يفترضوا أنه ثمة إلى جانب الثقوب النجمية، ثقوب أخرى لها تاريخ مغاير تماماً.

وكما يعرف القارئ، إنه في أوائل الستينيات من قرننا هذا (أي القرن العشرين الماضي -م)، اكتشفت أجسام سماوية غير عادية: الكوازارات. وتقع هذه الأجسام بعيداً خارج حدود مجرتنا. وهي تشع طاقة قوية قوة غير عادية، وأحياناً ما يزيد سطوعها بمئات المرات سطوع مجرات كبيرة. وهذا بحد ذاته مثير. لكن الذهول الحقيقي أصاب علماء الفلك حينما نجحوا في معرفة أن الطاقة الأساسية في الكوازار تشع من منطقة لا يتجاوز مداها سنة ضوئية واحدة!

وللمقارنة فقط نذكر بأن قطر المجرة، هو مئة ألف سنة ضوئية.

ولكن كيف أمكن تحديد أبعاد الكوازارات؟ فهي كلها بعيدة إلى درجة أنها تظهر في أي تلسكوب مجرد نجيمات صغيرة، ولذلك فإن تحديد أبعادها بطريقة مباشرة، أمر غير ممكن.

ولكن الفلكيين السوفييتيين يو. يفريموف وأ. شاروف حلا هذه المسألة بطريقة غير مباشرة. فقد اكتشفا أن الكوازار يمكن أن يبدل سطوعه تبديلاً حاداً في زمن يقل عن العام الواحد. وفي الوقت نفسه توصل الاختصاصيون الأمريكان إلى النتائج عينها. ومعنى ذلك أن حجم الكوازار يجب أن يكون أقل من عام ضوئي. وواقع الأمر أنه لو كان أكبر لكان الضوء الخارج من قسمه الأبعد عنا قد وصل إلينا متأخراً أكثر من عام عن الذي يصل إلينا من أقسامه الأقرب. ولذلك حتى لو سطع الكوازار سطوعاً حاداً، لرأينا في الوقت عينه ضوءاً متغاير السطوع آتياً من أقسامه المختلفة: كنا رأينا من طرفه الأمامي ضوءاً ساطعاً، ومن طرفه الأبعد ضوءاً ضعيفاً لأنه خرج قبل أكثر من عام، عندما كانت كثافة سطوع الكوازار ضعيفة. ويختلط هذا الضوء الضعيف في أجهزتنا من الضوء الساطع الآتي من الطرف الأمامي (ورؤيتهما كل على حدة غير ممكنة!)، فيزول تبدل سطوع الكوازار كله، وهو ليس تبدلاً حاداً لأنه يتمدد في الزمن.

إذن بصرف النظر عن كون الكوازار شديد الصغر: أكبر بألف مرة فقط من النظام الشمسي، إلا أنه يضيء كألف مليار شمس! لكن الفلكيين أجمعوا على أن هذا غير ممكن. ولكن كيف «يمكن ألا يكون هذا ممكناً»، إذ كان هذا «الوحش الشاذ» أمام أعين علماء الفلك مباشرة.

وأعقب ذلك طائفة من الفرضيات، أكثرها غير عادي. ففي ذلك الوقت كتب الفيزيائيان الشهيران جفري ومرغريث بيربيج يقولان: «هناك كثرة كثيرة من الأفكار المتناقضة بصدد نظرية المشاهدات (الكوازارات) وتأويلها، لكن 95٪ منها في أقل تقدير، غير صحيح».

وبقي اليوم الثقب الأسود العملاق، الذي تعادل كتلته مئة مليون كتلة شمسية، المرشح الوحيد الذي يملك أساسا للإدعاء بتأدية دور «المحرك الأساس» في الكوازارات. ويبلغ بعد مثل هذا الثقب مليار كيلومتر.

وقد تبين في خلال العقود المنصرمة، أن الكوازارات، هي نوى لمجرات ضخمة، وذات نشاط إشعاعي غير عادي. وغالباً ما تلاحظ فيها تحركات قوية للغازات. ونجوم المجرة نفسها لا ترى عادة حول مثل هذه النوى بسبب البعد الفائق والضعف النسبي لإضاءتها بالمقارنة مع إضاءة الكوازارات. كما تبين كذلك أن نوى كثير من المجرات تذكّر بما يشبه الكوازارت الصغيرة، وتظهر أحياناً نشاطاً عاصفاً: تقذف الغاز، وتغير من سطوعها، و...، لكن نشاطها هذا ليس نشاطاً قوياً بقوة الكوازارات الحقيقية. وحتى في نوى المجرات العادية تماماً، بما في ذلك مجرتنا، ترصد عمليات تدل على أنه «يعمل» هنا شبيه صغير الكوازار.

وتبدو الآن إمكانية ظهور ثقب أسود عملاق في مركز المجرة، أمراً طبيعياً. وواقع الأمر أن الغاز الموجود في المجرة بين النجوم، يجب أن يرسو بالتدرج نحو المركز تحت تأثير الجاذبية، ليشكل هناك سحابة غازية عملاقة. ويجب أن يفضي انكماش هذه السحابة أو أقسام منها، إلى ظهور ثقب أسود. ضف إلى هذا أنه ثمة في الأقسام المركزية من المجرات حشود من النجوم المتراصة تعد بالملايين. ويمكن أن تنهار النجوم هنا بفعل قوى المد عندما تعبر على مقربة من ثقب أسود، أما غاز مثل هذه النجوم المنهارة، فإنه يتحرك حول الثقب الأسود ثم يتساقط فيه.

ويجب أن يترافق تساقط الغاز في الثقب الأسود الفائق الجسامة، بظاهرات شبيهة بتلك التي تحدثنا عنها لدى حديثنا عن الثقوب السوداء النجمية المنشأ. ولكن هذه العمليات أكثر قوة بما لا يقاس. عداك عن هذا إنه ينبغي أن يحدث هنا تسارع

الذرات المشحونة في الحقول المغناطيسية المتبدلة التي تُحمل إلى الثقب الأسود مع الغاز المتساقط.

إذن هناك احتمال كبير جداً، أن تكون الثقوب السوداء الفائقة الجسامة موجودة. وقد قال الكاتب الفرنسي ج. رينار في هذا الشأن: «إن العالم إنسان مؤمن بوجود شيء ما تقريباً». ولكنني بسبب خصوصية علم الفلك الذي انتمي إليه، أحجم عن مثل هذه الاستنتاجات، وأجمل ما سبق بجملة واحدة: إن أعمال الرصد المقبلة وحدها يمكن أن تسهم في إيضاح هذه المسألة.