33

الثقوب السوداء

Black holes

فكرة أجسام كتلتها كبيرة جدًّا ولا يمكن للضوء الإفلات من جاذبيتها موجودة منذ فترة طويلة جدًّا لكن فهم الفيزياء التي تنطوي عليها هذه الأجسام الغريبة ليس بالمهمة السهلة، كما أن تعقب أجسام لا تطلق ضوءًا يمكن أن يكون أكثر صعوبة.

في عام 1915 نشر «ألبرت آينشتاين» نظريته النسبية العامة، وقد وحد هذا النموذج المكان والزمان في زمكان رباعي الأبعاد متصل يمكن أن يتشوه بفعل تراكم الكتلة مما يؤدي إلى حدوث التأثير الذي نعرفه بأنه الجاذبية (انظر صفحة 289). وقد شرح نظريته مستخدمًا «معادلات المجال»، وبعد شهور قليلة، استخدم «كارل شوارزشيلد» هذه المعادلات للتحقيق في كيفية تشوه الزمكان حول كتلة كبيرة تشغل نقطة منفردة في الفضاء.

وقد بين أنه إذا ضغطت أي كتلة تحت حجم معين (يعرف الآن باسم نصف قطر شوارزشيلد) فإن الوصف الذي قدمته معادلات «آينشتاين» سينهار: في لغة علم الرياضيات، سيصبح الجسم نقطة تفرد. وعلاوة على ذلك، ستتعدى السرعة المطلوبة للإفلات من جاذبية

الخط الزمني

1783م	1915م	1926م	1931م
تنبأ «ميشيل» بوجود نجوم مظلمة لها جاذبية عالية لا يستطيع الضوء الهروب منها.	تنبأ شوارزشيلد بوجود ثقوب سوداء من تحليله للنسبية العامة.	أوضح «إدينجوتن» كيف تتسبب نقاط التفرد في انزياح أحمر للضوء حولها.	ذهب شاندراسيخار إلى أن نقاط التفرد يمكن أن تنتج من انهيار ألباب النجوم الأكثر ضخامة.

الجسم (التي نسميها الآن سرعة الهروب) سرعة الضوء. ولما كانت سرعة الضوء هي الأسرع في الكون وفقًا للنسبية فإن هذا الجسم سيكون فعليًّا لا مفر منه.

وقد درس «آرثر إدينجوتن» (انظر صفحة 290)، الذي كان بالفعل قد قام بالكثير من أجل دعم نظرية آينشتاين، هذه الأجسام المضغوطة في كتابه عام 1926 عن بنية النجوم، وصقل الفكرة الأساسية كثيرًا.

ولما كانت سرعة الضوء ثابتة فإن الضوء من مثل هذا النجم هائل الكثافة لا يمكن إبطاؤه. وبدلًا من ذلك، قال إدينجوتن إنه لا بد أن يفقد طاقة عند حدوث انزياح أحمر

التنبؤ بالنجوم المظلمة

في عام 1783 قدم رجل الدين وعالم الفلك «جون ميشيل» ورقة بحثية ذات تبصر ملحوظ إلى المجتمع الملكي في لندن. في ذلك الوقت، اتبع معظم العلماء نظرية إسحق نيوتن؛ النظرية الجسيمية للضوء التي يتكون فيها الضوء من جسيمات دقيقة تتحرك بسرعات عالية. وقد فكر «ميشيل» منطقيًّا أن مثل هذه الجسيمات تتأثر بالجاذبية، ومن ثم فإنه من الممكن نظريًّا للنجم أن يكون جاذبية قوية لدرجة أن السرعة المطلوبة للهروب منها تفوق سرعة الضوء. وفي مثل هذه الحالة، قال إن النتيجة ستكون «نجم مظلم» - أي جسم لا ينبعث منه أي إشعاع لكن يمكن مع ذلك اكتشافه عن طريق تأثير جاذبيته على الأجسام المرئية، على سبيل المثال، إذا كان هذا النجم موجودًا في نظام ثنائي. وقد كانت الورقة البحثية التي قدمها «ميشيل» تنبؤًا هائلًا بظاهرة الثقب الأسود لكن عمله قوبل بالإهمال حتى السبعينيات وهو الوقت الذي قد تم فيه اكتشاف الثقوب السوداء بطرق أخرى.

1958م وضع «فينكلستاين» يضع فكرة أفق الحدث.

1963م وضع «روي كير» نموذجًا للثقوب السوداء الدوارة، وهو النوع الأكثر احتمالًا في العثور عليه في الطبيعة.

1969م اقترح «ليندن بيل» الثقوب السوداء الهائلة باعتبارها تفسيرًا ممكنًا لنشاط النجوم الزائفة.

1973م أثبت «ويستر»، و«ميردن»، و«بولتن» أن نجم الدجاجة X-1 على الأرجح هو ثقب أسود.

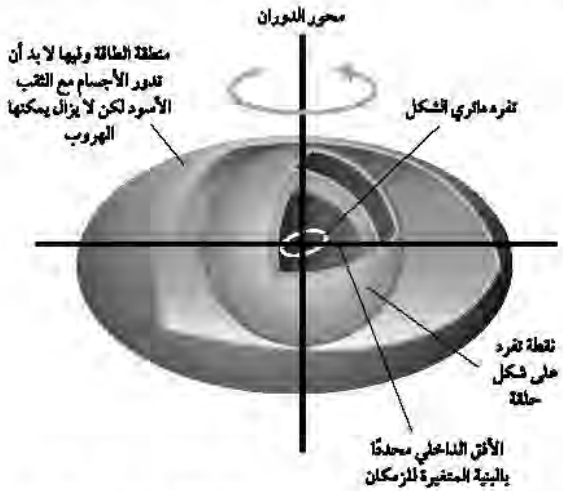
2015م اكتشاف اندماج نتج عنه ثقب أسود للمرة الأولى عن طريق موجات الجاذبية.

له على نحـو متزايد إلى أطوال موجية أخرى. وعندما يضغـط النجم إلى أقل من نصف قطر شوارزشيلد، يحدث انزياح أحمر فعليًا لضوئه ويتحول إلى غير مرئي.

من النظرية إلى الواقع

ومع ذلك بقيت أجسـام «شوارزشيلد» الغريبة تتسم بالسـمة النظرية البحتة حتى عام 1931 عندما أشار «سابرامانيان شاندراسيخار» إلى أن هذه الثقوب هي النتيجة الحتمية لانهيار لب نجم كتلته أكبر من 1.4 كتلة شمسية من المادة (انظر صفحة 193). وقال «شاندراسيخار» إنه لم يكن هناك وسـيلة لمثل هذا النجم ليولد ضغطًـا كافيًا لمعادلة ضغط جاذبيته الخاصة. ولم يتوقع النجوم النيوترونية التي اكتشفت فيما بعد، لكن في عام 1939 بين «روبرت أوبنهايمر» وزمـلاؤه أن حتى هذه النجوم فائقة الكثافة لها حد أعلى للكتلة قيمته حوالي 3 كتل شمسـية. وأثبت «أوبنهايمر» أنه عندما يتعدى النجم المنهار نصف قطر شوارزشـيلد فإن مرور الوقت يتوقـف، وهكـذا تصبـح هذه النجـوم غـير المتوقعـة معروفة بـ«النجوم المجمدة».

وقد بدأ عصر جديد في دراسة الثقوب السوداء عام 1958، عندما أعاد عالم الفيزيـاء الأمريكي «ديفيد فنكلشـتاين» تعريـف «نصف قطر شوارزشيلد» فسـماه «أفق الحدث». داخل هـذه الحدود، يسـتمر انهيار النجم ليكون نقطة كثافتها اللا نهائية



الثقوب السوداء الدوارة على الأرجح هي الشكل الأكثر شيوعًا في الطبيعة، ووفقًا لتحليل عالم الرياضيات النيوزيلندي «روي كير» عام 1963 فإن لهذه الثقوب سمات ليست موجودة في الثقوب السوداء الساكنة.

في الفضاء (نقطة التفرد الحقيقية)، لكن من وجهة نظر خارجية لا يمكن لأي معلومة الهرب من الأفق ـ وأي شيء يعبر هذه الحدود قُدِّر عليه أن تكون رحلته ذات اتجاه واحد فقط!

ما وراء أفق الحدث

أثناء الفترة ما بين الستينيات وبدايات السبعينيات، نظر علماء الكون نظرة أكثر تعمقًا في خصائص معلومات هذه الأجسام الغريبة مما أدى إلى اكتشاف أن خصائصها ليست متأثرة سوى بكتلة المادة التي تحتوي عليها، وكمية تحركها الزاوي، وشحنتها الكهربية. وطبقًا لـ«مبرهنة انعدام الشعر» فجميع المعلومات الأخرى فقدت بلا رجعة. وقد صاغ الصحفي «آن وينج» مصطلح «الثقب الأسود» الذي وصف به هذه الأجسام في تقرير صحفي عام 1964، وقد اكتسب شعبية عندما اعتمده عالم الفيزياء «جون ويلر» بعد سنوات قليلة.

في عام 1969، أشار عالم الفيزياء الفلكية البريطاني «دونالد ليندن بيل» للمرة الأولى إلى أن الثقوب السوداء قد لا تكون مقصورة على الأجسام التي لها كتلة النجوم، وقال إن اختفاء المادة داخل «حلق شوارزشيلد» الهائل مع كتلة ملايين الشموس قد يكون المحرك للنشاط الغريب والعنيف الذي يرى في قلب المجرات النشطة (انظر الفكرة 38). ومثل هذا الجسم، الذي يطلق عليه الآن ثقب أسود فائق، يمكن أن يبدأ بشيء بسيط مثل انفجار سحابة ضخمة من المادة النجمية في مجرة صغيرة. في عام 1971، وصل «ليندن بيل» وزميله «مارتن ريس» إلى حد الإشارة إلى أن ثقبًا أسود كامنًا يشكل مرساة الجاذبية في قلب مجرتنا (انظر صفحة 214).

الكشف عن الثقوب السوداء

في عام 1974، اشتهر عالم فيزياء شاب يدعى «ستيفن هوكينج» بإثباته أنه على الرغم من أنه ليس هناك إشعاع يفلت من الثقب الأسود إلا أن تأثيرات فيزياء الكم يمكن أن

تتسبب في جعل الثقب الأسود يصدر إشعاعًا منخفض الشدة في أفق الحدث له طول موجي يرتبط بكتلته.

ومع ذلك فإن «إشـــعاع هوكينج» هذا ضعيف جدًّا لدرجة أنه لا يمكن اكتشافه ومن ثم فإن الثقوب السوداء غير مرئية بأي شكل من الأشكال.

إلا أنه لحسن حظ علماء الفلك الظروف حول الثقوب السوداء من الشدة بحيث أنها تنتج آثارًا أخرى يمكن الكشـــف عنها. فعلى وجه التحديد، تنبعت الأشـــعة السينية من المادة التي تســـقط داخل الثقب الأسود حيث أن القوى المدية الصادرة من الطاقة الهائلة تمزقها وتسخنها حتى مليون درجة. وفي الســـتينيات، اكتشـــف العديد من مصادر الأشعة السينية الفلكية عن طريق أدوات تحملها الصواريخ، وعثر على المزيد بعد إطلاق أول قمر صناعي فضائي مخصص للأشـــعة الســـينية، وهو «أهورو» عام 1970. وقد ثبت أن العديد منها سحب من غاز فائق الحرارة داخل تجمعات مجرّية بعيدة (انظر صفحة 239) لكنها انضغطت في مكان ما ويبدو أنها مرتبطة بالنجوم المرئية في درب التبانة.

«الثقوب السوداء التي في الطبيعة هي أكثر الأجسام العيانية مثالية في الكون.»

سابرامانيان شاندراسخار

الســـيناريو الأرجح لتفســـير هذه المصادر الساطعة سريعة التغير كان ما يســـمى «ثنائي الأشعة السينية» وهي بقايـــا نجمية مضغوطة تســـحب المادة بعيـــدًا عن النجم المرئي المرافق (انظـــر صفحة 200). وعادة ما تضم مثل هذه الأنظمـــة نجومًا نيترونية، لكن في عـــام 1973، قام عالما الفلك البريطانيان «لويس ويبســـتر»، و«بول مردين» جنبًا إلى جنب مع الكندي «توماس بولتون» بالتحقيق في مصدر الأشـــعة السينية الساطع نجم الدجاجة X-1 وقاســـوا إزاحة دوبلر للضوء من نظيره المرئي؛ نجم عملاق أزرق ضخم. وقد كشـــف ذلك أن النجم محتجز في مدار حول مرافقه غير المرئي الذي تكبر كتلته 8 أضعاف كتلة الشـــمس.

ومثل هذا الجسم لا يمكن إلا أن يكون ثقبًا أسود. ومنذ ذلك الحين تستخدم هذه الفكرة البسيطة في الكشف عن الثقب الأسود عن طريق تأثيره على النجم المرافق له للكشف عن العديد من الأنظمة المشابهة.

الفكرة الرئيسة

لا مهرب من أكثر الأجسام كثافة في الكون