45

المادة المظلمة

Dark matter

فكرة أن أكثر من 80 ٪ من جميع المادة في الكون ليست فقط مظلمة بل إنها ببساطة لا تتفاعل مع الضوء على الإطلاق هي أحد أكثر الجوانب المحيرة في علم الكونيات الحديث. الدليل على وجود المادة المظلمة دليل دامغ لكن المعلومات بشأن تكوينها الحقيقي لا تزال بعيدة المنال على نحو محبط.

في عام 1933، بعد مدة ليست بطويلة من إثبات وجود مجرات أبعد من درب التبانة، والاعتراف الأولي بتجمعات المجرات باعتبارها بنى مادية (انظر صفحة 238)، قام «فريتز زفيكي» بأولى المحاولات الدقيقة لتقدير كتلة المجرات. وقد حقق في وسائل مختلفة، لكن أكثرها إثارة للاهتمام كان أسلوبًا رياضيًّا يعرف باسم «نظرية فيريال» – وسيلة لتقدير كتلة المجرات في تجمع ما من حركتها وموضعها. وعندما طبق «زفيكي» هذه النظرية على تجمع كوما المعروف، اكتشف أن مجراته كانت تتصرف كما لو كانت كتلتها تساوي 400 ضعف الكتلة التي أشار إليها ضوؤها المرئي. وقد عُزي هذا الاختلاف إلى ما أطلق عليه «المادة المظلمة».

الخط الزمني

1932م	1933م	1975م
حدد «أورت» مشكلات في دوران النجوم حول درب التبانة والتي تعني ضمنًا أن هناك كتلة مفقودة.	استخدم «زفيكي» نظرية فيريال لوزن تجمع كوما، واكتشف كميات ضخمة من المادة المظلمة.	نشر «روبن» دليل وجود المادة المظلمة من دراسة مفصلة لدوران المجرة.

وقد تطابقت فكرة «زفيكي» مع مكتشفات «جان أورت» الذي كان مشغولًا إلى أقصى حد بقياس دوران درب التبانة (انظر صفحة 209). وقد اكتشف «أورت» أنه في حين أن سرعة الأجرام التي تدور حول مركز مجرتنا تقل كثيرًا بزيادة المسافة (تمامًا كيفما تدور الكواكب الأكثر بعدًا في نظامنا الشمسي حول الشمس ببطء أكثر) إلا أنها لا تبطئ بالمقدار نفسه الذي قد يتوقعه المرء إذا كان توزيع درب التبانة يطابق توزيع نجومها. ومن ثم أشار «أورت» إلى أنه كان هناك كمية كبيرة من مادة غير مرئية تملأ منطقة هالة درب التبانة، وراء الأذرع المرئية للمجرة الحلزونية على الرغم من هذه التحقيقات المبكرة إلا أن دراسة المادة المظلمة انقطعت لعدة عقود بفعل التقدم في مجالات أخرى من علم الفلك. وقد بدا أن اكتشاف سحب ضخمة من الغاز بين النجمي المرئي في أطوال موجية راديوية- والذي رسم «أورت» بنفسه الكثير منه- قد حل المشكلة بدقة. ثبت أن المجرات، على وجه التحديد، تحتوي على مواد أكثر بكثير مما يشير الضوء المرئي وحده. وبقيام التلسكوبات التي تحملها الصواريخ وتلسكوبات الأقمار الصناعية بالكشف عن المزيد من الطيف المرئي من الخمسينيات فصاعدًا، سلط الضوء على المزيد من هذه المادة من سحب الغبار تحت الحمراء بين النجوم وغاز الأشعة السينية الساخن المحيط بتجمعات المجرات (انظر صفحة 239).

«في المجرة الحلزونية، نسبة المادة المظلمة إلى نسبة المادة المضيئة حوالي مضاعفات الـ10 وربما هذا عدد لا بأس به لنسبة ما نجهله إلى ما نعلمه.»

فيرا روبن

1998م

أكد باحثون يابانيون أن النيوترونات لها كتلة تمثل جزءًا صغيرًا من المادة المظلمة.

2003م

استخدم «ريتشارد ماسي»، وآخرون العدسات الثاقلية لقياس توزيع المادة المظلمة فيما يسمى بتجمع الطلقة.

إعادة اكتشاف المادة المظلمة

وبالتالي بقيت المشكلة مهملة حتى عام 1975 عندما نشرت عالمة الفلك الأمريكية «فيرا روبن» نتائج تحقيقها المضني الجديد في مشكلة دوران المجرة. وقد وجدت أنه حتى عندما أخذ الغاز بين النجمي والغبار في الحسبان فإن مدارات النجوم لا تزال لا تتصرف كما ينبغي. كانت أرقام «زفيكي» خارج الحدود إلى حد كبير لكـــن بدت المجرات تتصرف وكأنها تزن حوالي 6 أضعاف المادة المرئية داخلها أو أكثر.

كانت مزاعم روبن مثيرة للجدل بشكل مفهوم، ولكن عملها كان دقيقًا وعندما تم تأكيد ذلك بشكل مســتقل في عام 1978، حول معظم الفلكيين انتباههم من مسألة ما إذا كانت المادة المظلمة موجودة، إلى ما يمكن أن تكون هذه المادة وكيف يمكن دراستها.

اندرجـــت معظـــم محـــاولات تفســـير المادة المظلمة تحـــت فئتين: إما أنهـــا ناتجة عـــن كميات كبيرة من المـــادة العادية التي لا نســـتطيع ببساطة رؤيتهـــا لأنهـــا بالـــكاد تنبعث منها إشـــعاعات (تســـمى المـــادة المظلمة الباريونيـــة) أو أنها ناتجة عن شـــكل مـــا جديد وغريب من المادة (المادة المظلمة غير الباريونية).

المادة المظلمة، والانفجار العظيم

وهناك خط آخر من الأدلة يشـــير إلى وجود المـــادة المظلمة غير الباريونية- نظريـــة الانفجار العظيم نفســـها. لا يطابق نموذج التخليق النووي للانفجار العظيم لتكون العناصر بدقة نســـب المادة البريونية المرئية في الكون المبكر (دون أن تدع مكانًا للأجرام الهالية المضغوطة الثقيلة (MACHOs) فحســـب بل إن شكل من من جسيمات التفاعل الضعيف الضخمة يلزم لتفسير تكون البنية في الكون نفســـه. التغيرات الصغيرة في إشـــعاع الخلفية الكونية الميكـــروي (انظر صفحة 271) تشـــير إلى أن تركيزات من المادة والكتلة كانت قد بدأت في التكون في الكون في وقت مبكر جدًّا، جيدًا قبل أن تصبح شـــفافة (انظر صفحة 253) التفاعلات مع الضوء كان من شـــأنها أن تخلق ضغط إشعاع منع المادة الباريونية مـــن التجمع حتى بعد تلاشي الكرة النارية الأولية (انظر صفحة 253). ولحسن الحظ، كانت المادة المظلمة بالفعل قادرة على بدء بناء إطار تكونت حوله فيما بعد تجمعات المجرات الفائقة.

في الثمانينيـــات، صاغ الباحثون مختصرات جذابة للمرشـــحين الأكثر احتـــمالًا- أجرام هالية مضغوطة ثقيلة باريونية، وجسيمات التفاعل الضعيف الضخمة غير الباريونية.

الأجرام الهاليـــة المضغوطة الثقيلة (MACHOs) هي تراكمات صغيرة لكن كثيفة من المادة العادية يعتقد أنها تـــدور في هالات المجرة. وقد تضـــم الكواكب الضالة الافتراضية، والثقوب الســـوداء، والنجـــوم النيوترونية الميتة، والأقـــزام البيضاء التي بردت. ومثل هذه الأجـــرام يمكن أن تكون قد خرجت على نحو كبير عن قدرة التلســـكوبات القديمة على كشـــفها، ويمكن أن تمثل نسبة كبيرة من الكتلة. ومع ذلك أتاحت التحسينات في تكنولوجيا التلسكوبات والتقنيات الجديدة البارعة دراسات اســـتقصائية مكثفة في منطقة الهالة المجرّية في التســـعينيات، وعندما اكتشفت بعض الأجرام الضالة استنتج الباحثون أنها ببساطة لا توجد بالأعداد التي تجعلها تساهم مساهمة كبيرة في المادة المظلمة.

البحث عن جسيمات التفاعل الضعيف الضخمة

مـــع رفض الأجرام الهاليـــة المضغوطة الثقيلـــة (MACHOs)، بقي علـــماء الفلك وعلماء الكونيات مع فكرة جســـيمات التفاعل الضعيف الضخمة الغريبة غير المستقرة- مادة شبحية توجـــد بطريقة ما بالتزامن مع المـــادة الباريونية اليومية لكن نادرًا ما تتفاعل معها. جســـيمات التفاعل الضعيف الضخمة لا تمتص الضوء أو تشـــته أو ينبعـــث منها ضوء، وقد تمر في خط مســـتقيم خلال ذرات المادة العادية كما لو كانت غير موجودة. والسبيل الوحيد إلى رؤيتها هو من خلال تأثيرات الجاذبية الخاصة بها على الأجرام.

والخطوة الأولى المهمة لفهم جســـيمات التفاعل الضعيف الضخمـــة هي قياس توزيعها بالنســـبة للمادة العادية: هل هي باردة ومعلقة في ارتباط وثيق مع الأجرام اللامعة أم أنها حارة

تحلق عبر مسافات كبيرة ولا تحتفظ سوى بأقل ارتباط مع الكون المرئي؟ منذ التسعينيات يطور علماء الفلك أسلوبًا جديدًا لقياس وزن المادة المظلمة وحتى رسم خريطة لها باستخدام العدسات التثاقلية، أي الطريقة التي تنحني بها التجمعات الكبيرة من المادة مثل تجمعات المجرات وتشوه الضوء القادم من الأجرام البعيدة (إحدى عواقب نظرية النسبية العامة، انظر صفحة 289).

ومن المفارقات أن «زفيكي» كان يدعم استخدام العدسات التثاقلية لوزن المجرات في وقت مبكر من عام 1937، أكثر من 40 سنة قبل اكتشاف أول أمثلة لهذه الأجرام.

من خلال مقارنة قوة تأثيرات العدسة (التي تسيطر عليها المادة المظلمة) مع الضوء المنبعث من المادة المرئية، اكتشف الباحثون أن الاثنين يميلان إلى توزيعات مماثلة، مما يشير إلى أن المادة المظلمة الباردة هي النوع المهيمن. المادة المظلمة الساخنة بما فيها النيوترينات (الشكل الوحيد الذي اكتشف تجريبيًا من جسيمات التفاعل الضعيف الضخمة- انظر المربع) تسهم إسهامًا

مساهمة النيوترينو

تتطابق خصائص جسيمات التفاعل الضعيف الضخمة جيدًا مع خصائص النيوترينات، وهي جسيمات تبدو عديمة الكتلة، تنبعث أثناء تفاعلات نووية معينة والتي يستخدمها علماء الفلك في فحص النجوم من الداخل وكإنذار مبكر للمستعرات العظمى الأولية (انظر صفحة 187). ترصد النيوترينات على أفضل وجه باستخدام أجهزة الكشف عن أعماق الأرض، والتي تعتمد على تفاعلات نادرة بين النيوترينات والمادة الباريونية التي تنتج ناتجًا قابلاً للقياس مثل ومضة ضوء باهتة. في عام 1998 استخدم باحثون في مرصد نيوترينات «سوبر كاميوكندي» باليابان هذا الأسلوب لتحديد الظاهرة التي تسمى التذبذب، والتي فيها تتنوع النيوترينات بين ثلاث «نكهات» مختلفة. طبقًا لفيزياء الجسيمات، يمكن أن يحدث ذلك فقط إذا كانت النيوترينات في الحقيقة تحمل كميات صغيرة من الكتلة على الرغم من أنها على الأرجح أقل من 1 في المليار من ذرة الهيدروجين.

ضئيلًا نسبيًّا. لكن على الرغم من هذه النجاحات، فإن سر طبيعة المادة المظلمة نفسها تجعل من المرجح أن تخضع للحل عن طريق البحث في معجلات الجسيمات مثل مصادم الهادرون الكبير أكثر من الرصد التلسكوبي.

الفكرة الرئيسة

يتكون 80 ٪ من الكتلة في الكون من مادة غامضة غير مرئية