المادة المظلمة في أبحاث علم الكون

حقوق الصورة: Milennium-II Simulation

بقلم زهراء السراج، طالبة بكالوريوس في الفلك وعلوم الفضاء في جامعة إسطنبول.

مع تطوّر العلم عرف الإنسانُ أنه لا يستطيع رؤية كلّ شيءٍ في العالم، فهناك على سبيل المثال الأشعة والغازات التي لا تستطيع عينُه المجرّدة رصدَها، فاخترع آلاتٍ وأدواتٍ مكّنته من رصد أشياء لم يتوقّع حتى وجودَها، فاكتشف الذرة والجسيمات الأساسية والطيف الكهرومغناطيسي وأنواعاً عديدةً من الموجات، كما استطاع رصدَ أجسامٍ بعيدةٍ للغاية، وعرف فيما بعد أن بعض الأجسام وصلت مع تمدّد الكون إلى أماكن لا يكفيه عمرُ الكون بأكمله للوصول إليها. لكن ماذا إذا كان كل شيءٍ يتألف من تلك الذرات والجسيمات والأشعة

وغيرها ممّا عرفناه، سواءً رصدناه أم لا، لا يساوي إلا 4% فقط من الكون؟ وأن الكون يحملُ مقداراً هائلاً من مادةٍ لا نعرف عنها شيئاً سوى أنها لا تشبه شيئاً ممّا رصده الإنسان، فسمّيناها بـ "المادة المظلمة".

كان آينشتاين أول شخصٍ يفترض أن الفراغ الكونيّ يحوي مادةً وهو ليس فراغاً بمعنى الكلمة، حيث أضاف إلى نظريته "النسبية العامة" قيمة الثابت الكونيّ التي تمثّل طاقة الفراغ، إلا أنه تراجع عنه فيما بعد إلى أن أعاده العلماءُ مؤخراً إلى ساحة البحث العلميّ. يُشبّه عالم الكون الأمريكيّ دان هوبر المادة المظلمة بالإنسان الذي يطيرُ فوق أرض المسرح، أنت لا يمكنك رؤية الحبل المربوط به لكنك واثقٌ من وجوده، تماماً هي المادة المظلمة؛ نحن لم نرها أو نرصدها لكننا رصدنا الأدلة على وجودها. تُعدُّ اليوم لغزاً من أهم الألغاز التي واجهت العلماء، فهي تشكّل 23% من الكون؛ أي أكثر من 5 أضعاف المادة المرصودة، ولا أعني بالمادة المرصودة هنا تلك التي قمنا برصدها فقط، ولكن أي مادة تشبه المادة التي قمنا برصدها، ويطلق عليها الفيزيائيون والفلكيون أحياناً "المادة المضيئة".

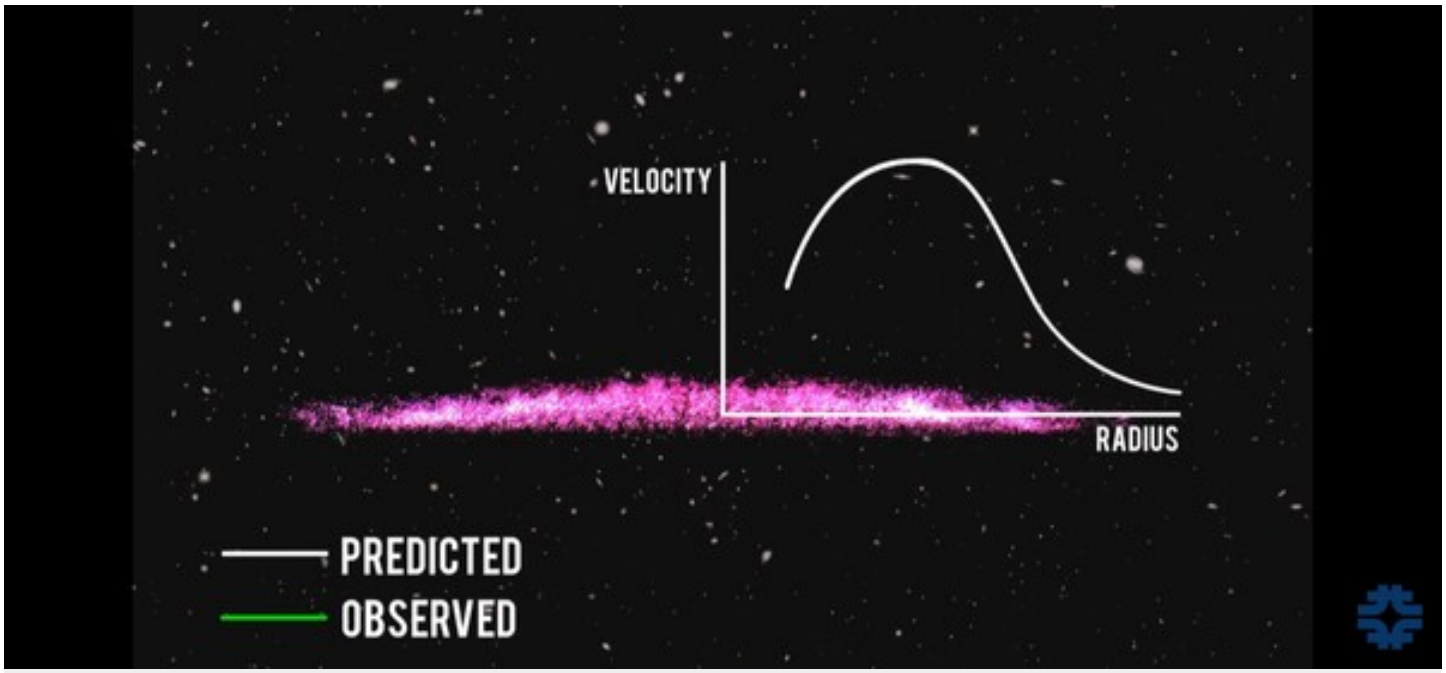
عاش العلماءُ، ولا زالوا، رحلةً مثيرةً مع فرضية المادة المظلمة، سنخوضُ هنا في بعض تفاصيل تلك الرحلة:

عرف العلماءُ في ثلاثينيات القرن الماضي أن البقع التي كانت تظهر على لوحاتهم الفوتوغرافية هي في الحقيقة مجموعاتٌ من النجوم ارتبطت معاً بقوة الجاذبية لتُعرف فيما بعد بالمجرّات. قام العلماءُ بتطبيق قوانين نيوتن للجاذبية والقصور الذاتيّ (**ميل الجسم إلى مقاومة التغيير في حركته**) لتوقع معدّلات دوران المجرّات. فمثلما يدور الكوكبُ حول النجم، يدور النجم حول مركز المجرة في مداراتٍ شبه دائرية الشكل تحت تأثير قوة الجاذبية، وبمعرفة توزّع الكتلة في أنحاء المجرّة نستطيع معرفة مقدار هذه القوة من خلال المعادلة الآتية:

$$GMm/R^2 = mv^2/R$$

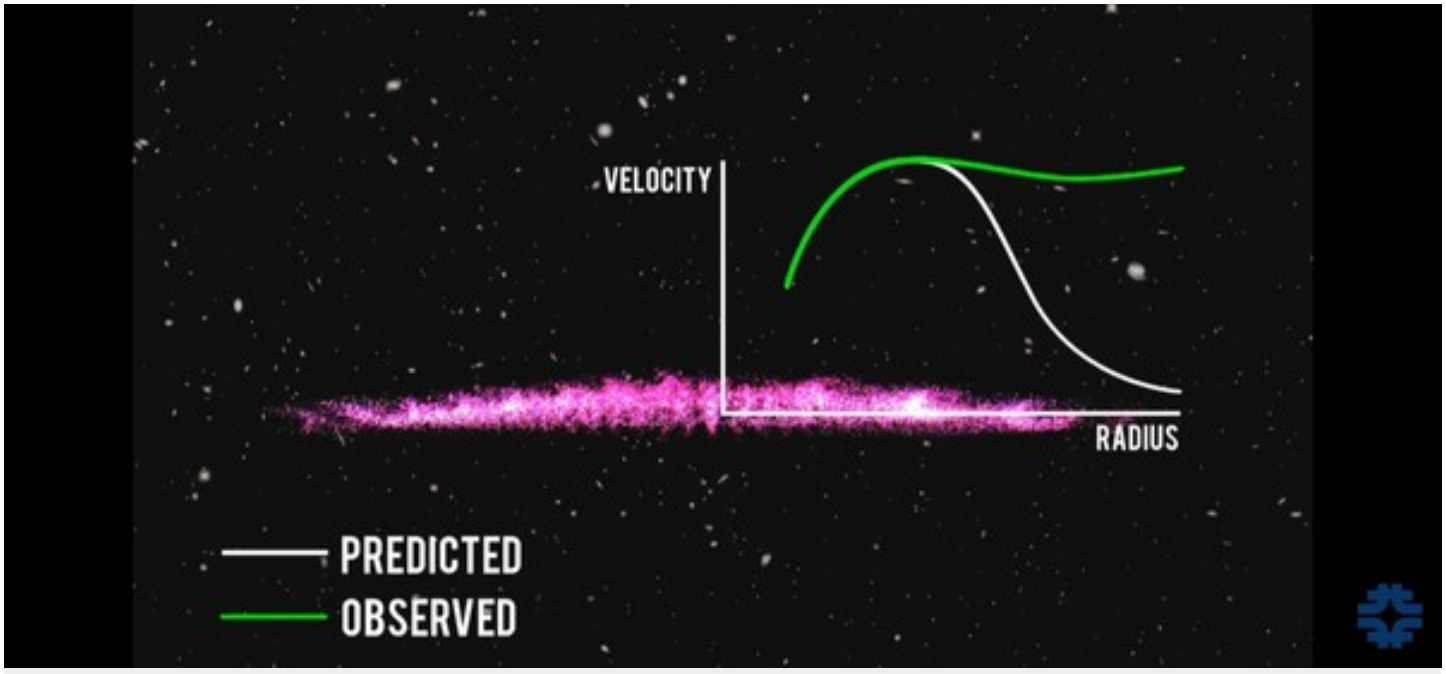
تعتمدُ القوة التي يشعر بها النجمُ بفعل الجاذبية على كتلة المجرّة، فكلّما زادت كتلتُها زادت تلك القوة، كما تعتمد الجاذبية بين مركز المجرة ومركز النجم على المسافة بينهما.

أما سرعة دوران النجم فتزداد تدريجيّاً مع ابتعاده عن مركز المجرة، فالنجوم القريبة من المركز تتحرك ببطء، وتتحرك النجومُ الأبعدُ بسرعةٍ أكبر، ولدى تجاوز النجوم بُعداً معيّناً عن المجرة فإن سرعتها يُتوقع أن تقلّ مجدّداً بشكلٍ تدريجيٍّ وفقاً للحسابات الرياضية والفيزيائية مثلما نرى في الرسم الآتي الذي يُظهر السرعة المتوقعة للنجم وفق بُعده عن مركز المجرة.



رسم بياني لمسار النجوم المتوقع حول مركز المجرة، يمثّل المحور الأفقي نصف قطر المجرّة (بُعد النجم) ويمثل المحور العامودي سرعة دوران النجم حقوق الصورة: Fermilab

قام الفلكيّ السويسريّ فريتز زويكي Fritz Zwicky برصد عنقود كوما المجري سنة 1933 ، واكتشف أن المجرّات تدورُ أسرع من المتوقّع، فعلى الرغم من أن النجوم القريبة من المركز تدور ببطءٍ وفقاً للتوقعات تماماً، إلا أن حركة النجوم البعيدة خالفت الحسابات بشكلٍ غير متوقع؛ فالنجوم البعيدة التي يُفترض أن تتباطأ شيئاً فشيئاً تتحرك بسرعةٍ كبيرة. بإمكاننا رؤية هذا في الرسم الآتي؛ حيث يمثّل اللونُ الأخضر السرعة الفعليّة للنجوم.



رسم بياني يوضّح الفرق بين المسار الفعليّ للنجوم (اللون الأخضر) والمسار المتوقّع لها (اللون الأبيض)، يمثّل المحور الأفقي نصف

قطر المجرّة (بُعد النجم) ويمثل المحور العامودي سرعة دوران النجم حقوق الصورة: Fermilab

بهذا، فإن سرعة النجم لا تعتمد على بُعده عن مركز المجرة، ولا تعتمد على القوة التي يشعر بها بفعل الجاذبية! من أجل ذلك توقّع زويكي وجود مادةٍ غير مرصودة بين المجرات تسرّع حركة النجوم وتحافظ على التجاذب بين مجرّات الحشد الواحد. لم يجد هذا التوقّع ما يدعمه من أدلةٍ أو فرضيات، ومن جهةٍ أخرى، وبما أن معادلة الحركة التي بُنيت عليها هذه الحسابات بسيطةٌ للغاية، أعاد هذا الاكتشافُ العلماءَ إلى الأساسيات:

تقول المعادلة بأن القوة اللازمة لتحريك النجم في مسارٍ دائريٍّ تساوي قوة الجاذبية، وبما أن التوقّعات خالفت الواقع فنحن أمام ثلاث احتمالات: إما أننا لم نفهم معادلات الحركة الدائرية، أو أننا لم نفهم الجاذبية، أو أن تلك القوّتين ليستا متساويتين أساساً. تمّ اختبارُ جميع الاحتمالات بالفعل خلال التسعين عاماً الماضية، دون الوصول إلى حلٍّ يغيّر من قوانين الفيزياء التي تمّ إثباتُ فاعليّتها في أماكن أخرى بالفعل.

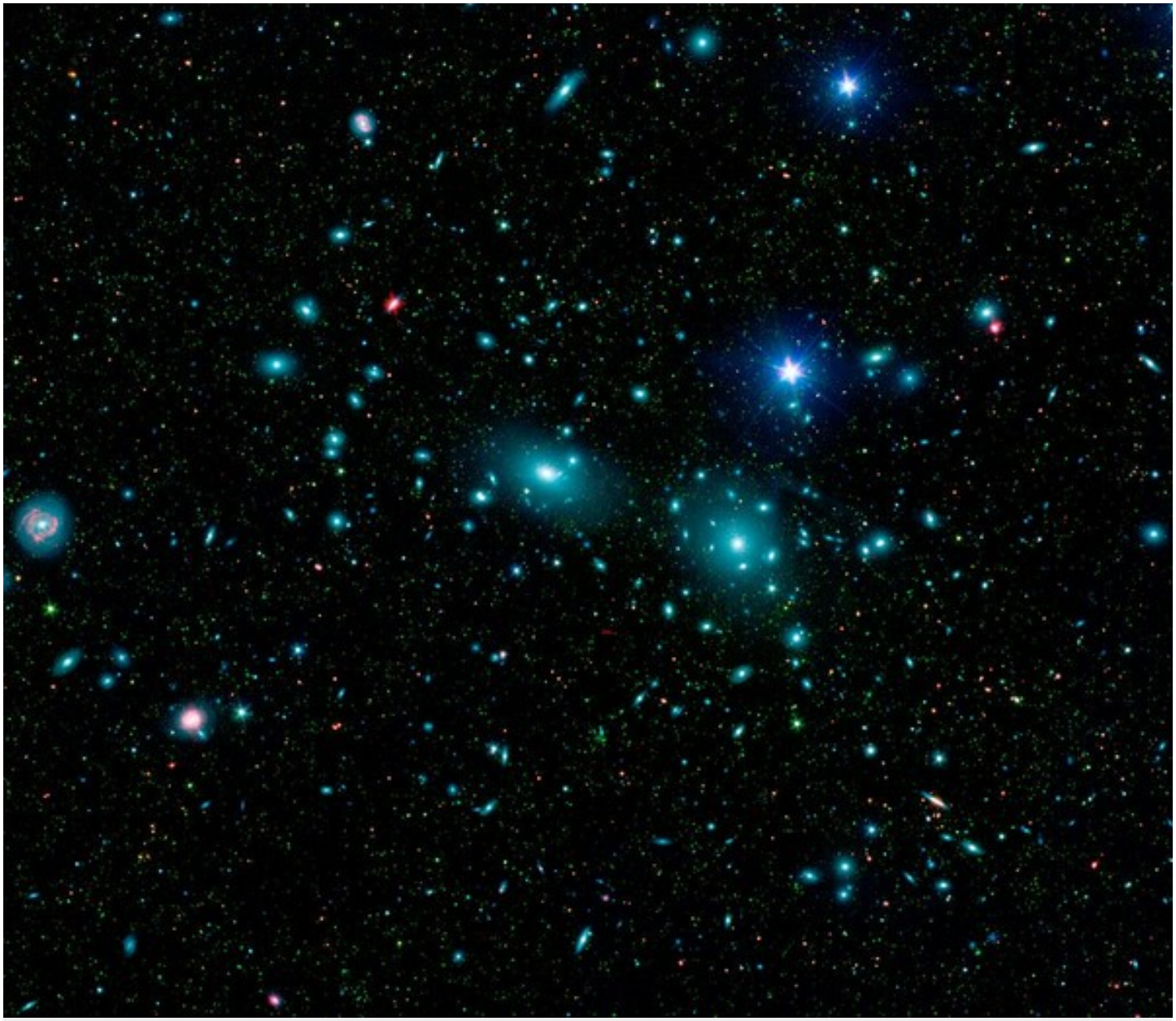
بدلاً من المحاولات البائسة لتغيير القوانين الثابتة على النطاقات الضيّقة المحيطة بنا، قادتنا العديدُ من الاكتشافات الأخرى نحو طريقٍ مختلفٍ تماماً:

وجد كلٌّ من الفلكيّين الأمريكيّين هوارس بابكوك Horace Babcock خلال عمله في مرصد ليك في كاليفورنيا سنة 1939، وفيرا روبين Vera Rubin وكينت فورد Kent Ford في ورقةٍ نُشرت في صحيفة الفيزياء الفلكية سنة 1970، أدلةً على أن كتلة المجرّات غير كافية لخلق قوة تُبقيها بشكلها الحاليّ، إذ قاما بدراسة مجرة أندروميدا؛ أقرب مجرةٍ لدرب التبانة، وقياس منحنيات الدوران للمادة المضيئة فيها؛ التي تمثّل توزيع وحركيّة ذرة الهيدروجين المحايدة في المجرات الحلزونية ذات الأنواع المورفولوجية (مصطلح يستخدمه الفلكيّون للإشارة إلى الخصائص الهيكليّة للمجرّات) المختلفة. ثم جمعوا منحنيات الدوران بطول 21 سم لغاز الهيدروجين المحايد الذي يمتدّ إلى ما هو أبعد من المادة المضيئة في كل مجرّة. بيّنت القياساتُ التي قاموا بإجرائها أن منحنى دوران المجرّة لا يعتمد على سرعة دوران المادة المرصودة فيها. إلا أن أحداً من بابكوك وروبن وفورد لم يعز ذلك إلى وجود كتلةٍ غير مرصودة.

جزء من مجرّة أندروميدا، وهي أوضح صورة أُخذت للمجرّة على الإطلاق حقوق الصورة: NASA/ ESA, J. Dalcanton/ B.F. Williams/ and L.C. Johnson (University of Washington)/ the PHAT team/ and R. Gendler

كما وجد الفلكيُّ الأستراليُّ كين فريمان Ken Freeman أن منحنيات الدوران في العديد من المجرّات لم تتّفق مع التوقّعات المبنيّة على

افتراض أن المجرة تتكوّن من نجومٍ وغازٍ، ولا شيء آخر. اقترح فريمان أن المجرّات مثل عنقود كوما المجريّ الذي رصده زويكي من قبل، احتوت على قدرٍ كبيرٍ من "المادة المظلمة" غير المرئية، قدرٍ أكبر بكثيرٍ من المادة المرصودة.



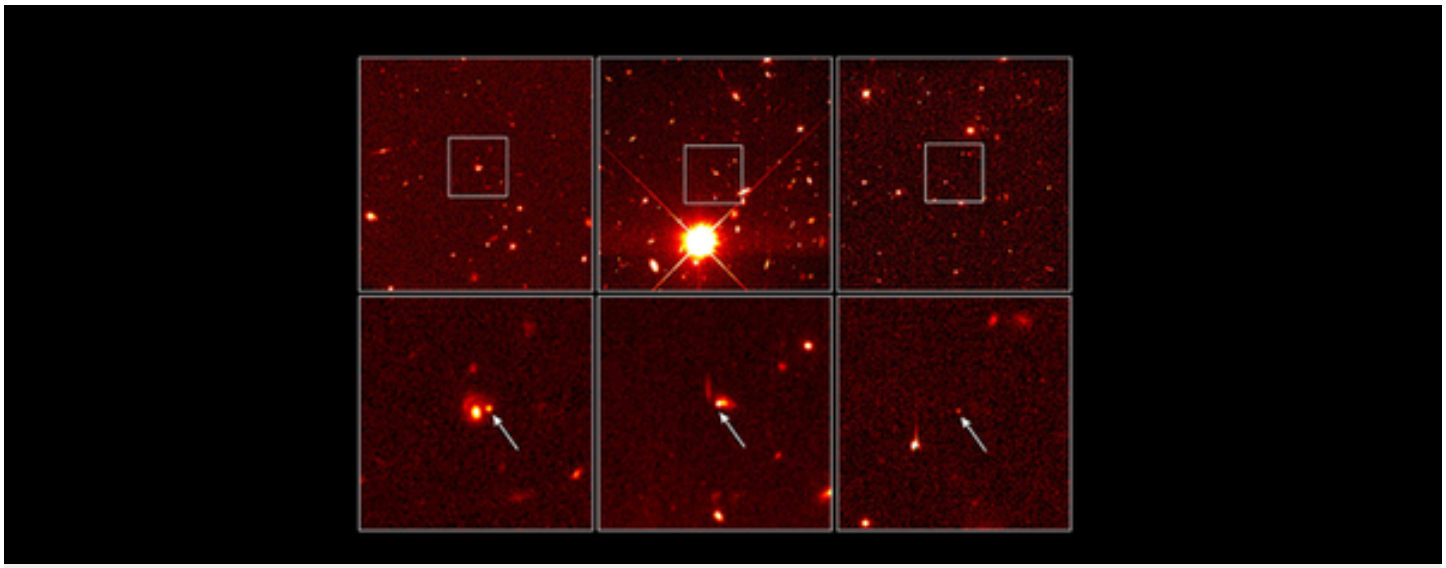
عنقود كوما المجري. حقوق الصورة: (NASA/ JPL–Caltech/ L. Jenkins (GSFC

في سنة 1973، حصل الفلكيّان الأمريكيّ مورتن روبرتس Morton Roberts والهولنديّ أرنولد روتس arnold roots، باستخدام بيانات خطّ طوله 21 سم، على منحنيات دوران ذرة هيدروجين محايدة لثلاثة مجرّات حلزونية قريبة. امتدّت منحنيات الدوران هذه عن مراكز المجرّات إلى مسافاتٍ أكبر بكثيرٍ من منحنيات دوران النجوم. وفي كل حالة، كان منحنى الدوران الكامل مسطّحاً بشكلٍ أساسيّ.

أخيراً ظهرت فرضية المادة المظلمة للمرة الأولى عندما نشر الفيزيائيّ الفلكيّ الأمريكي ارميا أوستريكر Jeremiah Ostriker ورقةً في صحيفة الفلك والفيزياء الفلكية سنة 1974، ذكر فيها أن منحنيات الدوران التي تمّ رصدها تضمّنت زيادةً خطيةً في كتلة المجرات الحلزونية مع نصف قطر المجرة، وبهذا فإن نسبة الكتلة الكلية للمجرة إلى كتلتها المرصودة كبيرة. فسّر أوستريكر هذا بأن المجرة الحلزونية مُحاطةٌ بكرة ضخمة من مادة غير مرئية "المادة المظلمة".

وبحلول عام 1980، كان العلماءُ قد لاحظوا التناقض الكبير بين كتلة المادة المضيئة في المجرة وبين قوة الجاذبية التي تتمتّع بها المجرة، وإذا كان قانون نيوتن للجاذبية صحيحاً تقريباً، كما هو الحال في النظام الشمسي، فإن كل مجرةٍ يجب أن تحوي كتلةً أكبر بكثيرٍ من كتلة المادة المضيئة التي تحتويها بالفعل. وللوصول إلى هذه الكتلة، تمّ افتراضُ وجود مادةٍ غير مرصودة تعزّز كتلة المجرة وتحافظ على قوة الجاذبية، فيها وبينها وبين المجرّات الأخرى، سُمّيت هذه المادة غير المرئية بـ "المادة المظلمة".

مع رصد تلسكوب هابل سنة 1998 أبعدَ مستعرّ أعظم رُصد في ذلك – على بعد 7.7 مليار سنة ضوئية. رصد العلماء في عام 2018 مستعرّاً أعظم يبعد عنا 10.5 مليار سنة ضوئية، عرف العلماءُ أن الكون كان يتمدّد بشكلٍ أبطأ في السابق ممّا هو عليه اليوم، ما يعني أن كتلة الكون لم تستطع إيقاف هذا التمدّد أو إبطاءه؛ وبالتالي هناك قوةٌ أكبر من قوة الجاذبية ومادةٌ أكبر من المادة المضيئة تتحكّم بتوسّع الكون.



المستعرّ الأعظم الذي رصده هابل سنة 1998 حقوق الصورة: /Garnavich (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) The High-z Supernova Search Team/ and NASA

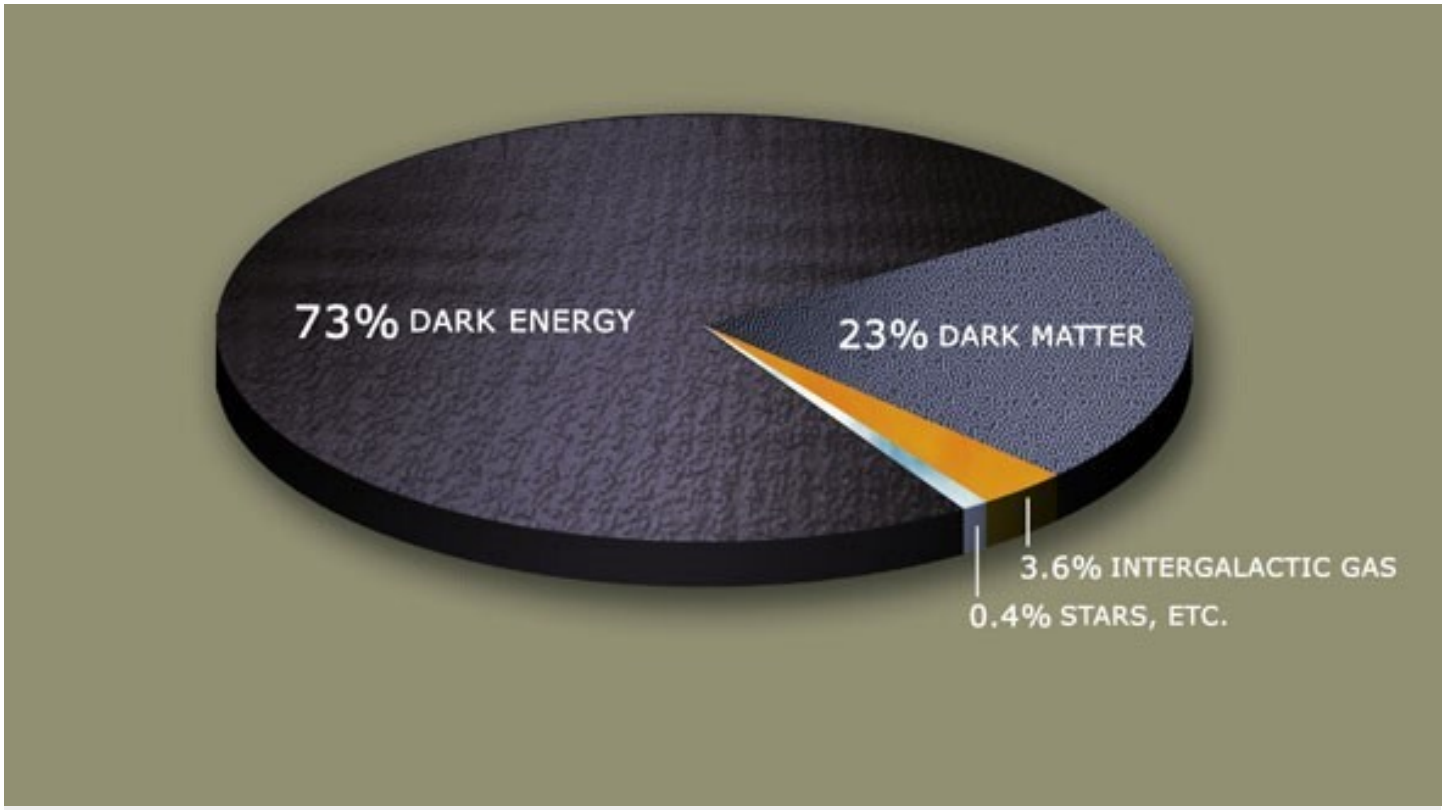
نشر موقع هابل الرسميّ سنة 1998 ملخصاً حول رصد هذا المستعرّ الأعظم، ورد فيه: "بعد الإبلاغ عن ملاحظاتهم الأوليّة اليوم في الاجتماع الشتويّ للجمعية الفلكية الأمريكية، خلص الفريق، بقيادة بيتر غارنافيتش Peter Garnavich، من مركز هارفارد سميثسونيان للفيزياء الفلكية في كامبريدج، ماساتشوستس، إلى أنه لا توجد مادةٌ كافيةٌ في الكون لتوفير الجاذبية الضرورية لوقف توسّعه اللانهائيّ".

قال غارنافيتش: "لا يمكنُنا أن نستنتج الكثير من أبعد مستعرّ أعظم رأيناه. ولكن، عندما ننظر إليه إلى جانب المستعرّات العظيمة الأخرى، فإننا متأكدون بنسبة 95%، أن كثافة المادة الموجودة غير كافية لوقف تمدّد الكون".

كان هذا الاكتشاف دليلاً جديداً على وجود المادة المظلمة، التي تُعدُّ اليوم جزءً من النموذج الكونيّ الأكثر قبولاً والمعروف بـ سي دي إم؛ : رمزُ الطاقة المظلمة، وسي دي إم: اختصارٌ لـ (المادة المظلمة الباردة).

يرى هذا النموذجُ أن كل مجرة حلزونية محاطة بهالة عملاقة من مادة مظلمة غير مرئية توفّر مساهمةً كبيرةً في مجال الجاذبية على مسافات كبيرة من مركز المجرة، مثلما افترض أوستراير من قبل.

يفترض النموذج الكونيّ الأكثر قبولاً ⍰ سي دي إم أن الكون يتألّف اليوم من حوالي 4% من المادة المضيئة، و23% مادة مظلمة، و73% طاقة مظلمة (شكل مجهول من الطاقة يؤثر على الكون على أوسع نطاقاته ويعمل على تسريع توسّع الكون)، حيث تشكّل الطاقة المظلمة والمادة المظلمة معاً حوالي 96% من إجمالي محتوى الطاقة والكتلة الشامل في الكون.



التوزّع المتوقع للمادة والطاقة في الكون: Dark Energy: الطاقة المظلمة Dark Matter: المادة المظلمة Intergalagtic Gas: الغاز بين المجرّي Stars, Etc: النجوم، وباقي الأجسام والأجرام الأخرى حقوق الصورة: NASA

على الجانب الآخر، يُعدُّ البديلُ الوحيدُ لفرضية "المادة المظلمة" هو تعديل قانون نيوتن للجاذبية، وهو بديلٌ غير قابلٍ للتطبيق. من أجل ذلك يعملُ العلماءُ على رصد المادة المظلمة أو إثباتها من خلال التجارب التي يتمّ إجراؤها في مناجم تحت الأرض بعمق كيلو مترًا للبحث عن المادة المظلمة التي يُتوقّع أنها مرّت من الغلاف الجويّ إلى الأرض، والتجارب على الأقمار الصناعية التي تبحث عن أدلةٍ على تفاعل جسيمات المادة المظلمة في السماء، ومحاولة العلماء في مسرّعات الجسيمات صناعة مادةٍ مظلمة.

المراجع

1) محاضرة لعالم الكون وأستاذ الفيزياء الفلكية في جامعة شيكاغو، دان هوبر، بعنوان: "الكشف عن طبيعة المادة المظلمة"
2) "أعظم الأسئلة: المادة المظلمة" للعالم الفيزيائي من مختبر الأبحاث الوطنيّ فيرمي، دون لينكون، على قناة Fermilab على يوتيوب
3) كتاب "قصة المادة المظلمة" للفيزيائيّ النظريّ بريان البرت روبسون
4) كتاب "الفيزياء: ثورات في القرن العشرين" للفيزيائي ديفيد غريفيثس

- التاريخ: 2020-09-18
- التصنيف: الكون

#الطاقة المظلمة #أندروميدا #المادة المظلمة #علم الكون

المصطلحات

- **المادة المظلمة (Dark Matter)**: وهو الاسم الذي تمّ إعطاؤه لكمية المادة التي أُكتشف وجودها نتيجة لتحليل منحنيات دوران المجرة، والتي تواصل حتى الآن الإفلات من كل عمليات الكشف. هناك العديد من النظريات التي تحاول شرح طبيعة المادة المظلمة، لكن لم تنجح أي منها في أن تكون مقنعة إلى درجة كافية، و لا يزال السؤال المتعلق بطبيعة هذه المادة أمراً غامضاً.
- **الطاقة المظلمة (Dark Energy)**: هي نوع غير معروف من الطاقة، ويُعتقد بأنه المسؤول عن تسارع التوسع الكوني.
- **المستعرات الفائقة (السوبرنوفا) (supernova)**: 1. هي الموت الانفجاري لنجم فائق الكتلة، ويُنتج ذلك الحدث زيادة في اللمعان متبوعةً بتلاشي تدريجي. وعند وصول هذا النوع إلى ذروته، يستطيع أن يسطع على مجرة بأكملها. 2. قد تنتج السوبرنوفات عن انفجارات الأقزام البيضاء التي تُراكم مواد كافية وقادمة من نجم مرافق لتصل بذلك إلى حد تشاندراسيغار. يُعرف هذا النوع من السوبرنوفات بالنوع Ia. المصدر: ناسا
- **مركز غودارد لرحلات الفضاء (GSFC)**: هو واحد من المراكز العلمية التي تقوم ناسا بتشغيلها. المصدر: ناسا
- **الغاز (Gas)**: أحد الحالات الأساسية الثلاث للمادة. في هذه الحالة تتحرك الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات بحُريّة، فلا ترتبط مع بعضها البعض. وفي علم الفلك، تُشير هذه الكلمة عادةً إلى الهيدروجين أو الهيليوم. المصدر: ناسا

المساهمون

- إعداد المقال
  - زهراء السراج
- مُراجعة
  - Azmi J. Salem
- تصميم
  - Azmi J. Salem
- نشر
  - Azmi J. Salem