الفوتونات المُظلمة

يُنصح بقراءة مقال الكون اللامنطقي قبل قراءة هذا المقال.

الفوتونات المُظلمة

من السطحية الاعتقاد أن المادة العادية والتي تشمل كل الجزيئات الأولية التى لم نكتشفها على الإطلاق في التجارب المعملية، تُشكّل فقط 5% من كثافة الطاقة في الكون.

يأتي الباقى بالطبع على شكل قطاع مُظلِم [1] (**dark sector**): شكل من أشكال كثافة الطاقة التي يمكن الاستدلال عليها بوضوح من

خلال مجالات الجاذبية التي تخلقها، ولكننا لم نتمكّن قطّ من صنعها أو لمسها بأنفسنا بشكل مباشر.

من الرائع أن تتخيل أن القطاع المُظلِم ممتع. بشكل آخر إذا فكرنا كفيزيائيين فإنه من الطبيعي أن نتساءل عمّا إذا كان القطاع المُظلِم معقدًا، مع كل تلك الظواهر الغنية كلًا على حده. وبالفعل هناك شيء مُمتع يحدُث: قد برهنّا على مدى الخمس عشرة سنة الماضية أن القطاع المُظلم يتكون على الأقل من جزئين، المادة المُظلمة، تُمثّل 25% من الكون، نعرفها كـ "مادة" لأنها فقط تتصرف مثل المادة. بشكل مفصّل فإنها تتجمع معًا تحت قوى الجاذبية، وكثافة طاقتها مُميعة بعيدًا بحيث تُمدّد الكون.

ثم بعد ذلك هناك الطاقة المُظلمة، تُمثل 70% من الكون وتبدو موحّدة بشكل مخيف، موزّعة في الفضاء بسلاسة، ومتماسكة (غير مُميّعة) عبر الزمن. لهذا هناك على الأقل هذه البنية الكبيرة في القطاع المُظلم.

لكن لا يوجد دليل على أى شيء مهم بجانب ذلك. واقعيًا تبدو المكونات الفردية للمادة المُظلمة **[2]** وللطاقة المُظلمة نسبيًا طبيعية وساكنة. وعلى نحو أدق فإن اعتبارها الحد الأدنى يدعم ملائمة جيدة للبيانات. بالنسبة للمادة المُظلمة الحد الأدنى يعني أن الجزيئات باردة (تتحرك ببطء) وبشكل أساسي لا تتفاعل مع بعضها البعض.

ويعني الحد الأدنى بالنسبة للطاقة المُظلمة **[3]** أنها ثابة تمامًا عبر الفراغ والزمن ـأي طاقة فراغ خالصةـ وليست شيئًا أكثر حيوية. حتى الآن كل ما لدينا هي الخطوط العريضة وليست استنتاجات قاطعة. من المؤكد إمكانية استمرار بوشل (مكيال) من الفيزياء الممتعة في القطاع المُظلم، ولكنها مازالت بالغة الرقة لملاحظتها بالنسبة إلينا. لذلك فإنه ممن المهم لنا كمُنظّرين أن نقترح نماذج مُحددة وقابلة للاختبار للقطاعات المُظلِمة غير محدودة، لذلك يسعى الراصدون لالتقاط صور عند محاولة توثيق روعة الظلام.

خلال هذه السطور قدّم كلّ من لوتي أكرمان **Lotty Ackerman**، ومات باكلي **Matt Buckley**، ومارك كامينوكوفيشكي **Marc Kamionkowski**، وأنا شين كارول **Sean M. Carroll**، قدّمنا ورقة علمية تكشف ما أعتقد أنه مُحرض بشكل خاص: مثل اقتران المادة العادية بقوى طويلة المدى تُعرف بالقوى الكهرومغناطيسية (**electromagnetism**) والتي تتوسط جزيئات تُسمى فوتونات. تقترن المادة المُظلمة بقوى طويلة المدى جديدة تُعرَف من الآن فصاعدًا بالقوى الكهرومغناطيسية المُظلمة (**dark electromagnetism**) تتوسط بين جزئيات تُعرف من الآن فصاعدًا بالفوتونات المُظلمة (**dark photons**).

الفوتونات المُظلمة والأشعة المُظلمة

المؤلفون: لوتي أكرمان، ومات باكلي، ومارك كامينوكوفيشكي، وشين كارول

اكتشفنا جدوى وأهمية الفيزياء الفلكية لمجال المقياس طويل المدى **U** (القوى الكهرومغناطيسية المُظلمة) التي تقترن فقط بالمادة المُظلمة، ولا تقترن بنظرية النموذج المعياري أو القياسي **[7]** (**Standard Model**). تتكون المادة المُظلمة من عدد متساوٍ من الشحنات الموجبة والسالبة تخضع لقوى جديدة، لكن يُبطِل فنائها إذا كانت كتلة المادة المُظلمة كبيرة بشكل كافٍ، وإذا كان التركيب الدقيق للمادة المظلمة ثابت البناء الدقيق (⍰) صغير بشكل كافٍ.

يُمكن الحصول على أثر لائق وافر أيضًا لو أن المادة المُظلمة اقترنت بتفاعل تقليدي ضعيف، وقد تحققنا من اتساق هذا مع المحاذير الخاصة بفيزياء الجُسيمات. يأتي المحظور الأساسي على ثابت البناء الدقيق من الرغبة المُلحّة للمادة المُظلمة أن تكون غير تصادميّة بشكل فعال. وهو ما يعني أن ثابت البناء الدقيق أقل من \(10^{-3} \) تيرا إلكترون فولت **[10]** (**TeV**) من المادة المُظلمة. هذه القيم

تتوافق بسهولة مع محاذير التكوين التركيبي والتخليق النووي البدائي. نحن نُزيد إمكانية تأثير البلازما الجديدة المثيرة في ديناميكيات المادة المُظلمة التي ما تزال قيد الإكتشاف.

لكي نُفسر ذلك قليلًا، تكمُن الفكرة في تخيّلنا وجود نوع مختلف كليًا من الفوتونات **[4]** حيث تقترن بالمادة المُظلمة ولكن لا تقترن بالمادة العادية، لهذا يمكن أن يكون هناك مجالات إلكترونية مُظلمة وأشعة مُظلمة وغيرها. المادة المُظلمة بذاتها تكوّن نصف الجسيمات بالشحنات المُظلمة الموجبة +1، وتكوّن نصف الجُسيمات المضادة بالشحنات السالبة.

الآن يمكنك أن تتسائل: "**لماذا لا تُمحق ببساطة كلتا الجسيمات والجسيمات المضادة [11] إلى فتونات مُظلمة [5]؟**" هذا النمط من التفكير هو على الأرجح السبب في عدم اكتشاف أفكار من هذا القبيل منذ عشرين عامًا (على حد علمنا). ولكن إن أمعنت التفكير ستجد مجموعة من الاحتمالات التي لا تُمحق فيها المادة المُظلمة بشكل فعال.

على سبيل المثال، لو كانت كتلة جُسيمات المادة المظلمة الفردية كبيرة بشكل كافٍ، ستكون كثافتها صغيرة جدًا، ولن تتصادم نهائيًا مع بعضها. فلو كانت شدة القوى الجديدة ضعيفة بإفراط، فلن تكون فعالة في تجميع الجُسيمات والجُسيمات المضادة معًا. لا شيء من ذلك مدهش، الشيء المُثير قليلًا هو عند تحليل البيانات سيبدو الأمر منطقيًا طالما تعلق الأمر بفيزياء الجسيمات **[9]**.

بالنسبة لجسيمات المادة الُظلمة فإنها تزن أكثر بمئات المرات من كتلة البروتونات، يجب أن يكون هناك ما يعادل جُسيمًا واحدًا من المادة المُظلمة لكل ما يُعادل مقياس فنجان قهوة من حجم الفضاء. شدة القوة الكهرومغناطسية المُظلمة مميزة، وطبيعية بثابت البناء الدقيق **[8]** . تذكّر أن القوة الكهرومغناطيسة العادية تتميز بثابت بناء دقيق **α = 1/137**. تبين أن الحد الأقصى لثابت البناء الدقيق المطلوب لإيقاف فناء جُسمات المادة المظلمة يكون تقريبًا نفسه! بينما كنت أتوقع أن تتروح بين \(10 ^{– 15}\) أو في تلك الحدود، وكان من الرائع السماح بتلك القيم الكبيرة.

رغم أننا لا نعرف الكثير عن المادة المُظلمة أكثر من "**كونها لا تُفنى**"، فاننا نعلم أنها على الأغلب تتصادم بصورة أقل. لا تتصادم جزيئات المادة المُظلمة مع بعضها غالبًا. ولو تصادمت، فإن كل أنواع الأشياء ستحدث على طريقة المجرات والعناقيد المجرية والتى لا نلحظها في الواقع. لهذا فإنه هناك قيدًا آخر على شدة الكهرومغناطيسية المُظلمة: يجب أن تكون التفاعلات ضعيفة بقدر كافٍ بحيث لا تهدأ جزيئات المادة المُظلمة خلال تفاعلها مع بعضها البعض في المجرات والعناقيد المجرية. والذي يتحول إلي رابطة أكثر صرامة على ثابت البناء الدقيق: بترتيب من القيم الصغيرة، حيث يكون ثابت البناء الدقيق أقل من \(10^{–3 }\) وذلك يُبقى قيمتة ليست سيئة للغاية.

الشيء المثير للاهتمام أكثر، أننا لا نستطع أن نؤكد بثقة إن كانت المادة المُظلمة لا تتفاعل على نحو فعال، لو أن نموذجًا مثل نموذجنا صحيح فإن شدة الكهرومغناطيسية المُظلمة تقترب من الحد الأعلى من قيمتها المحدودة. ربما يكون هناك عواقب هامة لتطوير بنية واسعة النطاق.

في الوقت الحالي هناك بعض الصعوبة في اكتشاف ماهية تلك العواقب ويُعزى ذلك لأسباب ترجع للحسابات الأرضية. ما نقترحه هو اعتبار المادة المُظلمة واقعيًا كالبلازما، ولفهم كيفية تكوين بِنيَتِها يحتاج المرء للتمعُّن في المغناطيسية المُظلمة. وهي مهمة غير هينة لكننا نأمل أن يستمتع طلاب الدراسات العليا بدراستها.

فكرة القوى الجديدة التي تُؤثر على المادة المُظلمة لا تعني شيئًا جديدًا الآن. فقد قُمت عليها مؤخرًا بنفسي وكذلك بعض الزملاء المدونين. (المدونون النشطاء الصامتون الذين يفخرون بالتدوين عن أوراقهم العلمية الخاصة). المُثير بخصوص الفتونات المُظلمة أنها أكثر بساطة عن منظور فيزياء الجُسيمات.

نماذج القوى النمطية الخالصة بعيدة المدى تبث مجالات لا موجهّة، والتي يُعتبر العمل بها سهلًا وممتعًا، إنما يجب بلا ريب أن تكون لها كُتل هائلة، ومن ثمّ لا تكون بعيدة المدى كما ظننا إطلاقًا. تأتي الفتونات المُظلمة من معيار متماثل كما هو حال الفتونات العادية ولذلك انعدام كتلتها أمر طبيعي تمامًا.

حتى الفتونات المُظلمة ليست جديدة، في الورقة العلمية الحديثة حيث افترض فينج **Feng** وتو **Tu** ويو **Yu** أنها ليست مجرد فتونات مُظلمة ولكن أسطونات من المجالات والتفاعلات المُظلمة الجديدة:

المخلفات الحرارية في القطاعات المستترة

قد تكون المادة المُظلمة مُستترة، ذلك في غياب تفاعلات النموذج المعياري المقياسي . تتناسب في نفس الوقت النماذج الخالية من التفاعلات الضعيفة للجزيئات الضخمة (**Weakly interacting massive particles = WIMPless**) مع كتل المادة المُظلمة المُستترة تتناسب مع مربع المعيار المستتر المقارنين له.

ربما تكون كثافة المُخلفات الحرارية للمادة المُظلمة المُستترة فى المدى الصحيح بشكل طبيعي حافظة للمفتاح الكمي الخاص بالتفاعلات الضعيفة للجزيئات الضخمة (**WIMPs**). نحن نهتم بهذا الاحتمال بكامل التفاصيل. في البداية نُحدد القيود المستقلة النموذجية المفروضة على القطاعات المُستترة في التخليق النووي الابتدائي (**Big Bang nucleosynthesis**) وإشعاع خلفية الكون (**cosmic microwave background**). وعلى عكس الحكمة التقليدية فإن القطاعات الكبيرة المُستترة تكون مُتكيّفة بسهولة...

قد أظهروا هذه النماذج لتجنب جميع أشكال القيود التي قد تقلق بشانها. من حيث الحصول على وفرة من الآثار المُتبقية إلى ملائمتها مع القيود في التخليق النووي البدائي وإشعاع خلفية الكون.

في الواقع نموذجنا أكثر بساطة، لأن لدينا نكهات مختلفة لما نقدمه فى نموذجنا: يمكن ملاحظة التأثيرات المُحتملة لهذه القوى طويلة المدى في القطاع المُظلم على الدينماكية الكونية. لسنا متأكدين بعد من ماهية هذه التأثيرات، ولكن تأمُّلها ودراستها شيئ ممتع. وبالطبع الاختلاف الآخر بين الكهرومغناطيسية المُظلمة والقوى المعيارية الرتيبة هو أن الكهرومغناطيسية تمتلك كِلتا الشحنتين الموجبة والسالبة وبالتالى كِلا القوتين؛ قوى التجاذب وقوى التنافر.

(تميل القوى المعيارية لأن تكون متجاذبة ببساطة، وتكون مضطربة/ فوضوية مع الجاذبية). وهكذا يمكننا أن نتصور وجود أكثر بكثير من نوع واحد من المادة المظلمة. ماذا لو كان لديك نوعان مختلفان من الجزيئات المستقرة التى تحمل شُحنة مُظلمة؟ ثم أصبحنا قادرين على تصنيع الذرات المُظلمة، وتمكّنا من البدء في كتابة الأوراق العلمية عن الكيمياء المُظلمة. أتعلم أن علم الأحياء المُظلمة ليس بعيدًا عن ذلك. ربما سنتمكن يومًا ما من تبادل الإشارات مع شبكة الاتصالات/ الانترنت المُظلمة.

ملاحظات

[1] **قطاع مُظلِم**: يدل على كميه الطاقه المُظلمة والماده المظلمة في الكون والتي تُشكل حوالي 95% تقريبًا من كتله الكون.

[2] **المادة المُظلمة أو المُعتمة**: هي مادة افتُرضت لتفسير جزء كبير من مجموع كتلة الكون. لايمكن رؤية المادة المظلمة بشكل مباشر باستخدام التلسكوبات، حيث من الواضح أنها لا تبعث ولا تمتص الضوء أو أي إشعاع كهرومغناطيسي آخر على أي مستوى هام. عوضًا عن ذلك، يُستدل على وجود المادة المظلمة وعلى خصائصها من آثار الجاذبية التي تمارسها على المادة المرئية، والإشعاع، والبنية الكبيرة

للكون (وفقًا لوكيبيديا).

[3] الطاقة المُظلمة: أحد الأشكال الافتراضية للطاقة التي تملأ الفضاء والتي تملك ضغطًا سالبًا. وفق النسبية العامة، تأثير مثل هذا الضغط السالب يكون مشابهًا لقوة معاكسة للجاذبية في المقاييس الكبيرة. افتراض مثل هذا التأثير هو الأكثر شعبية حاليًا لتفسير تمدد الكون بمعدل متسارع.

[4] فوتونات (الفوتون): جسيم أولي عديم الشحنه، عديم الكتلة، ينتقل بسرعة الضوء، له خاصية مزدوجة موجة- جُسِيم. ينشأ الفوتون عند انتقال أحد إلكترونات الذرة من مستوى طاقة مرتفع لمستوى طاقة منخفض تحت تأثير خارجي كالحرارة. فالفوتونات عبارة عن أشعة كهرطيسية، بعضها يمكن رؤيته وينتمي إلى أشعة الضوء المرئي، والبعض الآخر يمكن أن يظهر في هيئة شعاع من الأشعة السينية ذات الطاقة العالية وبالتالي لها درجة نفاذ عالية. وتنشأ الأشعة السينية عندما يقفز إلكترون من مستوىً عالٍ في الذرة إلى مستوى طاقة منخفض في الذرة بالقرب من النواة.

[5] الفوتونات المُظلمة: جُزيء افتراضي أولي، يُقتَرح أنه ناقل القوى الكهرومغناطيسية للمادة المُظلمة. مثل الفوتونات العادية فإن الفوتونات المُظلمة أيضًا عديمة الكتلة.

[6] الأشعة المُظلمة: نوع مُفتَرَض من الأشعة يتخلل التفاعلات في القطاع المُظلم. حيث يُفترض أن الأشعة المُظلمة تتوسط التفاعلات بين جزيئات المادة المُظلمة.

[7] النموذج المعياري أو القياسي: تقوم على توصيف ثلاث قوى أساسية في الطبيعة هي: الضعيفة والقوية والكهرومغناطيسية كما تقوم بتوصيف الجسيمات الأولية التي تدخل في تركيب المادة. إلا أن النقص الأساسي في هذه النظرية يكمن في عدم احتوائها للقوة الأساسية الرابعة وهي قوة الجاذبية.

[8] ثابت البناء الدقيق (dark fine-structure constant α^): ثابت ربط يعين شدة التآثر الضعيف أو التآثر الكهرومغناطيسي. ويرمز لثابت البناء الدقيق عادة **α** حيث إنها كمية مطلقة ليس لها وحدات.

[9] فيزياء الجُسيمات: أحد فروع الفيزياء الذي يدرس المكونات الأولية للمادة والإشعاع، إضافة إلى التآثرات المتبادلة فيما بينها. يدعى أيضًا فيزياء الطاقة العالية.

[10] تيرا إلكترون فولت = مليون مليون الكترون فولت

[11] الجُسيمات المضادة: جسيم يشبه الجسيم الأصلي، مساوٍ له في الكتلة الساكنة والدوران المغزلي وفترة العمر ، ولكنه معاكس بالشحنة الكهربائية وإن كان مساويًا لها تمامًا.

- التاريخ: 2018-02-01
- التصنيف: اسأل فلكي أو عالم فيزياء

#المادة المظلمة #الفوتونات #فيزياء الجسيمات #المادة العادية #الفوتونات المظلمة

المصطلحات

- **الجسيمات فائقة الكتلة وضعيفة التفاعل (Weakly Interacting Massive Particles)**: أو اختصاراً WIMPs، وتُعتبر من بين المرشحين الفيزيائيين الأقوى لتكون جسيمات المادة المظلمة، ويُعتقد أن هذه الجسيمات تتفاعل مع غيرها من الجسيمات عبر قوى الثقالة والقوى النووية الضعيفة.
- **إشعاع الخلفية الكونية الميكروي (cosmic microwave background)**: أو اختصاراً CMB، وهو الإشعاع الحراري الذي خلفه ورائه الانفجار العظيم، وهي موجودة في كل الاتجاهات بالكثافة نفسها، وتعادل درجة حرارة 2.725 درجة كلفن.
- **الكهرومغناطيسية أو الكهراطيسية (electromagnetism)**: الكهرومغناطيسية هي مجال دراسة يُركز على القوة الكهرومغناطيسية التي تُمثل نوعاً من التفاعلات الفيزيائية التي تحصل بين الجسيمات المشحونة كهربائية. المصدر: العلوم الأمريكية
- **الانفجار العظيم (Big Bang)**: نموذج للكون مقبول بشكلٍ واسع، ويفترض هذا النموذج أن التوسع المرصود للكون بدأ منذ 13.7 مليار عام عندما كان الكون ساخن جداً وكثيف جداً. يقوم هذا النموذج وبشكلٍ ناجح بتفسير الخلفية الكونية الميكروية ونسبة الهيدروجين، والهليوم، والعناصر الخفيفة الأخرى، بالإضافة إلى توسع الكون.

المصادر

- discovermagazine
- الصورة

المساهمون

- ترجمة
  - هالة منير وهبة
- مُراجعة
  - نداء البابطين
- تحرير
  - أسماء إسماعيل
- تصميم
  - نادر النوري
- نشر
  - مي الشاهد