مدخل إلى موضوع المادة المظلمة في الكون

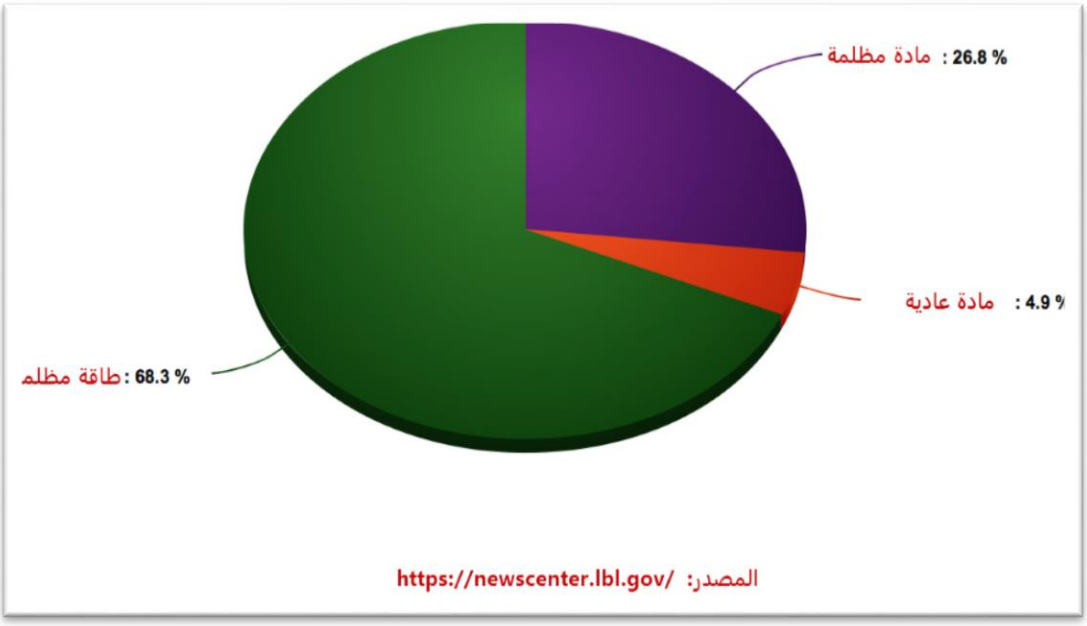
أ.د. ناصر بن صالح الزايد

6 ربيع الأول 1442 (23 أكتوبر 2020)

السلام عليكم.

بحثت عن مقال مكتمل حول المادة السوداء باللغة العربية أو الإنجليزية، غير أني لم أجد مقالا يشفي الغليل، بالرغم من وجود ألاف المقالات والكتب والنشرات ومقاطع الفيديو، فوجدت أنه من المناسب أن أقوم بكتابة استعراض يسهل قراءته وفهمه حتى من قبل غير المتخصصين.

وهنا سوف أقوم فقط برصد هذه الظاهرة التي لاحظها بعض العلماء على مر الـ 100 سنة الماضية، ولماذا وصلوا إلى فرضية وجود شيء (ما) يفوق في مجمل كتلته 95% من مجمل الكون المرصود للبشر وينقسم إلى قسمين: تقريبا 27% مادة كتلية مظلمة (غير قابلة للرصد التقليدي) + 68% يعتبر أشد غموضا يطلق عليه الطاقة المظلمة (طاقة غير قابلة للرصد بالطرق التقليدية). أي أن كل ما نشاهده من نجوم وأفلاك ومجرات وتجمعات نجمية ضخمة لا يمثل إلا 4% من الكون الحقيقي! هذه المادة المظلمة تمسك أجزاء الكون مع بعضها بقوة غامضة، بحيث لو تخيلنا أنها سحبت من داخل المجرة، فإن كواكب ونجوم المجرة تنفلت شذر مذر إلى غيرما اتجاه محدد.



هناك سباق محموم حاليا بين الدول للكشف عن هذه المادة الغامضة، فيجري البحث عنها في معجل سيرن CERN Accelerator ، وهناك معامل تحت الأرض لمحاولة فك لغزها، كما أن هناك معامل محمولة على ظهور الأقمار الصناعية، لنفس الغرض. في الصين على سبيل المثال وفي العام 2010 قامت مجموعة بحثية في جامعة سنقوا بإنشاء معمل يبلغ حجمه 1400 متر مكعب على عمق كيلومترين ونصف تحت جبال سيكوان، لغرض البحث عن أية إشارة حول هذه المادة، وكونه تحت الأرض من أجل العزل التام عن المؤثرات الأخرى.

على النقيض من ذلك، وفي عام 2011، قامت ناسا بتسليم مجس لدراسة المادة المظلمة يبلغ وزنه ستة أطنان إلى محطة الفضاء الدولية على ارتفاع 350 كيلومتر عن سطح الأرض، وقد تم حمله على مركبة إنديفور الفضائية.

قد تقود نتائج هذه المعامل، وهناك معامل أخرى غيرها، إلى الكشف عن أكبر تحد يواجهه العلم الحديث، وربما تقود أيضا إلى تغيير جذري في كثير من النظريات المطروحة حاليا حول أصل وطبيعة ونشأة الكون.

دعونا نستعرض بعض الأدلة التي لاحظها العلماء حول المادة المظلمة، ونضع أنفسنا – مثلهم – أمام النتائج التي تحتاج إلى تفسير، فربما نقتنع بتفسيرهم وربما يكون لدى أحدنا وجهة نظر مختلفة، المهم أن نتشارك في البيانات التي تحتاج إلى شرح وفهم.

الدليل الأول:

من أوائل الأدلة حول المادة المظلمة جاء في العام 1922 م عندما طرح العالم الهولندي جاكوبس كابتين Jacobus Kapteyn نموذجه للكون والذي قال فيه إن النجوم في الكون ليست موزعة كيفما اتفق، وإنما هي موزعة ضمن نماذج متناسقة (أي مثلا تتوقع وجود أجرام سماوية بحجم ما على فواصل فلكية ثابتة من بعضها). استفاد هذا العالم من هذا النموذج في تخمين كتل المجرات والتجمعات النجمية، ثم قارنها بما هو مرصود فعليا من هذه النجوم والمجرات، ليستنتج أنه توجد مادة غير مرئية تمثل كتلا أكبر بكثير مما هو مرصود بالفعل [1].

الدليل الثاني:

جاء هذا الدليل من قبل عالم الفلك الهولندي الشهير (جان هندرك أورت) Jan Hendrik Oort وذلك ضمن ملاحظاته أثناء رصده لمجرة درب التبانة في السنوات التي انتهت بالعام 1932 م [2]. تقع دراسات هذا العالم في مجال دراسات وتحليل ديناميكية المجرات galactic dynamics. كان أورت يقيس سرعات النجوم المشكلة للمجرة نسبة إلى قرص المجرة (للمعلومية: المجرة من النوع اللولبي شكلا، وتمتد بصورة قرص قطره في حدود 10 كيلوبارسك، وسمكه 4 كيلوبارسك،

حيث البارسك الواحد يمثل مسافة فلكية تقدر بـ $3.12x10^{16}$ km). كانت دراسات هذا العالم مركزة على قياس سرعات النجوم نسبة لذلك القرص وباتجاه متعامد عليه. ما سبب له الدهشة أنه وجد أن تلك السرعات تفوق ما يطلق عليه علميا بسرعة الإفلات (سرعة الإفلات هي السرعة التي لو رميت بها جسما إلى أعلى فإنه يتمكن من التخلص من جاذبية الأرض والخروج من مجالها إلى غير رجعه). وعليه فقد كانت تلك السرعات التي تتحرك بها النجوم المشار إليها بالنسبة لقرص المجرة كافية لمغادرتها للمجرة بشكل نهائي. غير أن هذا لا يحصل؟ وكان بذلك مثار تساؤل؟ كيف تتحرك نجوم متأثرة بجاذبية متوسط كتلة المجرة بسرعات تفوق سرعة الإفلات من تلك الجاذبية ومع ذلك هي لا تفلت؟ فتوصل إلى فرضية وجود مادة مجهولة ضمن وحول مادة المجرة ذات جاذبية هائلة وغير معلومة، تمنع تلك النجوم من الإفلات من قبضة الجاذبية. أطلق أورت عليها المادة المظلمة.

الدليل الثالث:

تم رصد مؤشرات على ما قيل إنه مادة مظلمة، وجاء للمرة الثالثه وهذه المرة من قبل عالم الفلك السويسري (فرتز زويكي) Fritz Zwicky [3] وهو أول من استخدم (مبرهنة الطاقة الحركية للنظام متعدد الأجسام: مبرهنة فيريال) virial theorem للتدليل على وجود المادة السوداء أو المظلمة وذلك في العام 1933م. المبرهنة المذكورة فكرتها أنها تعطي معادلة عامة تصلح لتقدير الكتلة العامة المشكلة لنظام مكون من عدة أجسام (مثلا مجرة) بشرط أن تكون تلك الأجسام مترابطة فيما بينها من خلال قوى الجذب الكوني لتكون نظاما واحدا وأن يكون ذلك النظام في وضع اتزان (استقرار على مدى زمن طويل)، وذلك من خلال

حساب المتوسط الزمني للطاقة الحركية الكلية لهذا النظام وربطها بطاقة الوضع الكلية للنظام. يمكن أن نلخص تلك المبرهنة بالمعادلة الرياضية: $M_{tot} \cong 2R_{tot}v^2/G$ حيث M_{tot} تمثل الكتلة الكلية للنظام (مثلا الكتلة التقديرية للمجرة بأكملها وهي المطلوب حسابها)، R_{tot} نصف قطر النظام (مثلا نصف قطر المجرة)، في حين أن الكمية v^2 تمثل مربع متوسط سرعة الأجسام المكونة للنظام (مثلا متوسط سرعات النجوم في المجرة)، وأخيرا فالكمية G هي ثابت الجذب الكوني.

إن شرط كون النظام المشكل للمجرات أو التجمعات النجمية الضخمة واقع ضمن منظومة واحدة تجمعها قوى الجاذبية الكونية (مثل نظام المجموعة الشمسية) هو أمر قد تم إقراره قبل مجيء زويكي بفترة طويلة، منذ أيام العالم الألماني-البريطاني ويليام هرشيل William Herschel (1780 م) وما زالت الأبحاث تؤكده مرة بعد الأخرى (راجع بحثنا بعنوان: حدار محري ضخم على مرمى 500 سنة ضوئية فقط من الأرض). ولذلك يصح القول إن مجرة درب التبانة هي في النهاية كتلة واحدة مشكلة من عدد ضخم من النجوم والكواكب والغبار الكوني، مجتمعة تحت تأثير قوى التجاذب الكوني Gravitationally Bound System وكذلك الحال مع جميع المجرات، بل حتى مع تجمعات المجرات.

قام زويكي بتطبيق هذه الفرضية في دراسته لتجمعين نجميين شهيرين الأول: عنقود مجرات كوما (الذؤابة) العظيم Coma constellation وهو عنقود يتكون من مجرات كثيرة (حوالي 1000 مجرة!) ويقع بصورة كروية قطره تقريبا 20 مليون سنة ضوئية (حوالي 6 كيلوبارسك) ويقع بالقرب منا في حدود 300 مليون سنة ضوئية (حوالي 90 مليون بارسك) وليس بعيدا عنه يقع عنقود مجرات العذراء

العظيم Virgo constellation وهو التجمع الثاني (أكثر من 700 مجرة) الذي قام بدراسته ذلك العالم.

عنقود مجرات العذراء العظيم (أكثر من 700 مجرة تشكل كتلة كونية واحدة)

توصل زويكي إلى تقدير كتلة هذين التجمعين العملاقين للنجوم بهذه الطريقة، ثم قام بتقدير الكتل بطريقة ثانية للمقارنة وهي استخدام علاقة الكتلة باللمعان mass-luminosity relation والتي يعبر عنها رياضيا كما يلي: $L/L_{\odot} = (M/M_{\odot})^{a}$ حيث $L_{\odot}$ تمثل لمعان الشمس، و $M_{\odot}$ تمثل كتلة الشمس، والكميات الأخرى هي لمعان وكتلة الجسم الكوني اللامع الآخر على الترتيب. الثابت a هو رقم يستخدم بحسب حجم التجمع النجمي ولكن يقع في حدود 3.5 . لاحظ زويكي وجود فارق كبير جدا بين النتيجتين دفعه للافتراض بوجود مادة كتلية مخفية (مادة مظلمة) تقع في ثنايا وحول التجمعات النجمية المشار إليها. ركز في هذا

الاستنتاج فهو مهم للغاية لأنه يقر بتأثير المادة المظلمة في الحسابات المعروفة. أقصد أن حساب الكتلة عن طريق اللمعان يفترض أنه أعطى نتيجة أدق من تلك المحسوبة عن الطريق الآخر.

الدليل الرابع:

هذا الدليل مختص بالمجرات التي تسبح ضمن غاز يشع أشعة أكس وتسمى (مجرات التألق السيني) x-ray bright galaxies . هذه المجرات يحيط بها غاز لامع ولكن بأشعة غير مرئية هي أشعة إكس (السينية) وهو يشع بسبب تهييجه حراريا بواسطة حرارة التجمع النجمي نفسه أو قل حرارة الأجسام المشكلة له (يشترط لهذا التجمع أن يحترم الشروط التي ذكرتها أعلاه في الدليل الثالث). هناك تخصص ضمن علوم الفلك يسمى: علم الفلك بالأشعة السينية، يدرس الإشعاع المذكور ويتخصص فيه، ولذلك يضع أجهزته عادة خارج تاثير طبقة الهواء المحيط بالأرض، أي محمولا فوق الأقمار الصناعية أو البالونات على الأقل.

نتائج مراقبة هذا النوع من التجمعات وتحليل بياناتها، أعطى أرقاما لا يكفي فقط اعتماد كتلة التجمعات مضافا لها كتلة الغازات المذكورة، لتفسيرها، بل لابد من اعتبار أن هناك كتلة أخرى غير مرئية تفوق الكتلة المرئية بشكل كبير حتى يمكن فهم النتائج.

الدليل الخامس:

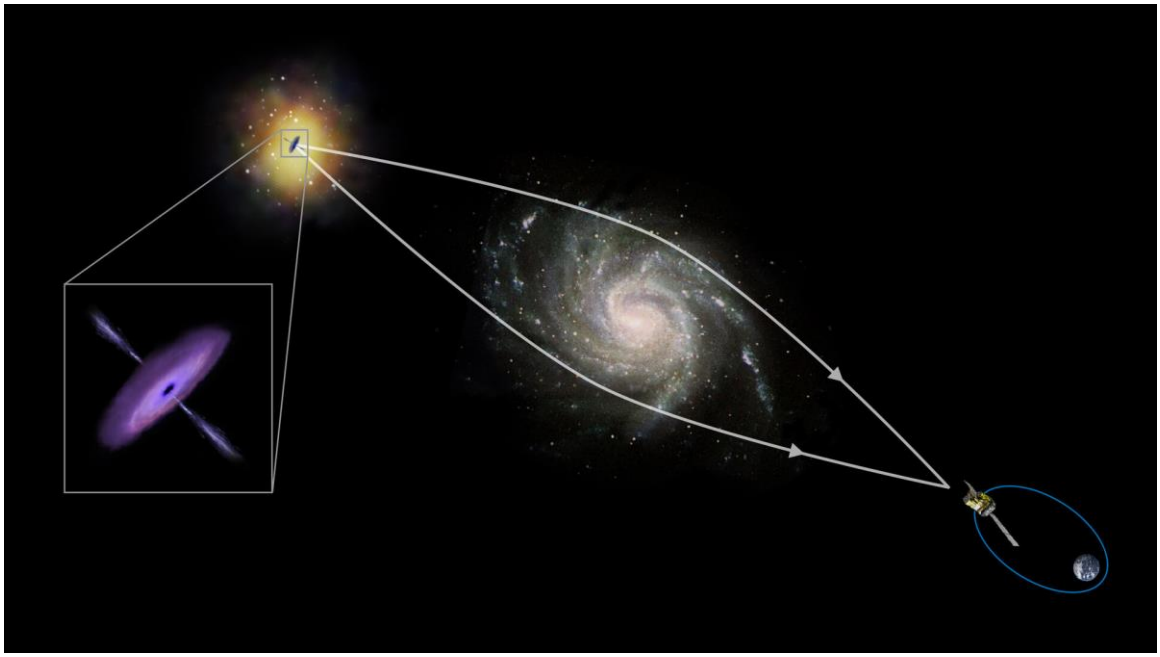
عندما تمت دراسة حركة الأجرام المنتمية للمجرات اللولبية، مثل مجرتنا، مجرة درب التبانة، وعلى وجه التحديد تمت دراسة حركة الأجرام في أفلاكها حول مراكز

المجرات. وحيث إن من طبيعة تلك المجرات أن كتلتها تتركز في المناطق القريبة من المركز (كثافة الأجرام المشكلة لها تتركز بشكل أكبر حول المركز)، وبالتالي وباستخدام قوانين كبلر الشهيرة لدوران الأجرام في افلاكها حول الكتل، والتي تنص على أن سرعات تلك الأجرام في أفلاكها تكون اقل كلما ابتعدت عن مركز الجاذبية (الكتلة) (على سبيل المثال الأرض عندما تكون في الحضيض تكون أبطأ منها عندما تكون في الأوج أي بالقرب من الشمس). على هذا فإن العلماء يتوقعون أن تتحرك الأجرام المنتمية للمجرات المذكورة بحيث تتباطئ عندما تبتعد عن المركز (تكون في أطراف المجرة) ولكن هذا لا يحدث، بل تحافظ تلك الأجرام على نفس سرعتها V(r) بغض النظر عن موقعها من المجرة. إن هذا يصادم قوانين كبلر، ويحتم فرضية وجود كتلة هائلة مخفية، وربما هالة كتلية مخفية حول المجرة بحيث يختفي أثر التباعد عن المركز. ظهر ذلك على سبيل المثال في دراسات العالم الأسترالي كينيث فريمان Kenneth Freeman في العام 1970 م حيث جزم في أعقابها بوجود مادة غير مرئية لا تقل عن المادة المرئية في أقل الأحوال [4]. تأكد ذلك لاحقا بدراسات راديوية قام بها العالمان روقستاد و شوستاك في عام 1972م ومن ثم العالمان روبرتس و روتس في العام 1973 م حيث أكد هؤلاء العلماء عن طريق رصد راديوي للمجرات، بأن عددا من تلك المجرات تعكس مدارات مستوية (مضادة لقوانين كبلر) مما يشير إلى مادة غير مرئية ذات ثقل ملحوظ ضمن تلك المجرات [5].

الدليل السادس:

رصد المادة المظلمة جاء أيضا باستخدام نظرية أينشتاين العامة في موضوع انحناء نسيج الزمان-المكان (الزمكان) بالقرب من الكتل ذات الجاذبية العالية. من

نتائج تلك النظرية أنه عندما يمر شعاع كهرومغناطيسي (ضوء على سبيل المثال) قادم من بعيد بالقرب من كتلة ذات جاذبية ضخمة، أو يمر من خلالها، فإنه يعاني من انحناء الزمكان، يسمى هذا الأثر أيضا (أثر عدسة الجاذبية) gravitational lensing، وذلك أن العدسة من شأنها أنها تؤدي إلى انحناء الضوء فيتجمع في البؤرة، والجاذبية المرافقة للكتل الضخمة تؤدي إلى أثر مشابه. تم رصد الموجات الكهرومغناطيسية القادمة من وراء المجرات، والتي تمر طبعا من خلال المجرات وصولا إلى المراقب على سطح الأرض لأكثر من مرة، منها على سبيل المثال من خلال القمر الصناعي الأوروبي Planck [6] من خلال رصده الدقيق لأشعة الخلفية الكونية خلال الأعوام 2009 وحتى 2013، حيث لوحظ أن الانحناء الحاصل في الأشعة القادمة من وراء المجرات يفوق ما هو متوقع من مجرد كتل المجرات المرصودة أو المشاهدة، مما حتم فرضية وجود مادة ذات كتلة تفوق الكتلة الظاهرية.



أثر عدسة الجاذبية. عندما تمر أشعة قادمة من بعيد وتمر حول تجمع مجري ضخم والذي يؤثر عليها مثل العدسة العادية فتنحني الأشعة قبل أن تصل إلينا. الصورة من موقع محطة الفضاء الأوروبية.

وعلى هذا، فهذه ستة أدلة مختلفة في الطريقة والأسلوب، ولكنها تعتمد أساسا تأثير الجاذبية المادية على الأجسام، وهي متظافرة في تأييد فكرة المادة المظلمة، وأنها تفوق كثيرا المادة المرئية بالنسبة لنا. إن حصر تأثير المادة المظلمة في جانب الجاذبية فقط يثير بعض علامات الاستفهام، إذ كيف يكون لهذه المادة هذا الأثر في حين تغيب جميع الصفات الأخرى المعروفة للمادة؟

باختصار يقول صاحب كتاب (Behind the Scenes of the Universe): **بغض النظر عن الجسم السماوي الذي نقوم برصده، وبغض النظر عن طريقة الرصد، فإننا ننتهي دائما بالحصول على كتلة أكبر كثيرا من الكتلة التي نتوقعها**.

باختصار: المادة السوداء تتسم بما يلي:

1. غير مشعة، لا يخرج منها إشعاع معروف
2. غير متفاعلة مع أي من الجسيمات الأولية، كالفوتونات أو الإلكترونات أو غيرها
3. غير متفاعله مع المجال المغناطيسي
4. يتوقع أنها مكونة من أجسام غير مشحونة (متعادلة)
5. لم يتم حتى الآن الكشف عنها في المعامل
6. تفاعلها الوحيد المرصود مع المادة المرئية هو من خلال قوى الجذب الكوني على المستوى الكبير (مستوى المجرات مثلا)
7. مختلفة تماما عن كل ما نعرفه حاليا في جميع النواحي
8. يعتقد بأنها هي المسؤولة عن تماسك أجزاء الكون بعضها مع بعض
9. كثافتها ثابتة ولا تتغير بسبب التمدد الكوني!!

إذن هذه هي المادة المظلمة (السوداء) غير المرئية في الكون. صار من شبه المؤكد أنها تقع ضمن المجرات، وحولها، ولكن من غير الواضح هل هي متوزعة بشكل متساو أم أنها تختلف قربا وبعدا من مركز المجرة. وإذا كانت المادة المرصودة (التي بين أيدينا) مبنية من المكونات الأساسية مثل: الكواركات + الليبتونات + البوزونات الناقلة للقوى الرئيسية + بوزون هجز، فإنه من غير المعروف حتى الآن مم تتكون المادة المظلمة علاوة على الطاقة المظلمة. ولكن من المؤكد أنه – وبافتراض قبول فكرة المادة المظلمة – أنها موجودة الآن من حولنا وخلال فضائنا الذي نتحرك فيه، ونحن لا نستطيع حتى الإحساس بها. تخيل أن جميع أجرام الكون تسبح في الماء؟ استبعد الماء وضع مكانه المادة المظلمة.

هل تتفقون معي بأن: المخلوقات التي تخلق من تلك المادة غير المرئية ستكون غير مرئية؟؟ لن أذهب أبعد من ذلك!!

وتبقى الأسئلة مطروحة: هل يا ترى فعلا هناك مادة مظلمة غير مرئية؟ أم أن المسألة لا تعدو أن هناك خطأ ما يتكرر في جميع حساباتنا، وبالتالي يتوجب إعادة النظر فيها بحيث يتم إضافة تصحيح من نوع أو آخر؟ وماذا عن القوى المظلمة؟ هل توجد قوى غير مرئية؟ ولماذا لا تتمدد المادة المظلمة مع الكون (إن كان فعلا يتمدد) فالطبيعي أنك عندما تمد مادة ما في حجم أكبر أن كثافتها تقل، غير أن المادة المظلمة تحافظ على نفس الكثافة؟ وهي كما ترى ألغاز صعبة الحل، وتمثل تحديا غير مسبوق أمام العلماء.

1. J. C. Kapteyn, “First attempt at a theory of the arrangement and motion of the sidereal system”, Astrophysical Journal 55 (1922) 302.

2. Ken Freeman, Geoff McNamara (2006). In Search of Dark Matter. Springer. ISBN 978-0-387-27616-8. "the story of the emergence of the dark matter problem, from the initial 'discovery' of dark matter by Jan Oort"

3. F. Zwicky, “Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln”, Helvetica Physica Acta 6 (1933) 110–127; English translation in General Relativity and Gravitation 41 (2009) 207–224.

4. K. C. Freeman, “On the disks of spiral and 50 galaxies”, *Astrophysical*

Journal 160 (1970) 811.

5 Behind the Scenes of the Universe from the Higgs to Dark Matter, Gianfranco Bertone, 2013

6. https://sci.esa.int/web/planck