



وجهات نظر جديدة حول مكاننا في الكون

ترجمة: المهندس / عبدالحفيظ العمري

تكافئ جائزة نوبل في الفيزياء 2019م فهماً جديداً لبنية الكون وتاريخه، واكتشاف أول كوكب يدور حول نجم شمسي (نجم يشبه الشمس) خارج نظامنا الشمسي. ساهم الحاصلون على جائزة هذا العام في الإجابة عن الأسئلة الأساسية حول وجودنا؛ ماذا حدث في بداية الكون وما حدث بعد ذلك؟ هل يمكن أن توجد هناك كواكب أخرى بعيداً عن الأرض، تدور حول شمس أخرى؟

اشتغل جيمس بيبلز James Peebles بدراسة الكون، حيث هناك مليارات من المجرات والعناقيد المجرية. أساس فهمنا الحديث عن تاريخ الكون، منذ الانفجار العظيم وحتى يومنا هذا، جاء من إطار عمله النظري والذي طوره على مدى عقدين من الزمن بدءاً من منتصف الستينيات. فقد قادت اكتشافات بيبلز إلى رؤى حول محيطنا الكوني، حيث لا تشكّل المادة المعروفة سوى خمسة في المائة من كل المادة والطاقة الموجودة في الكون، في حين 95 في المائة المتبقية مخفية عنا. هذا لغز وتحدي للفيزياء الحديثة.

استكشف كلا من ميشيل مايور Michel Mayor وديديه كيلوز Didier Queloz مجرتنا درب التبانة بحثاً عن عوالم مجهولة؛ فاكشفوا في عام 1995م أول كوكب خارج نظامنا الشمسي. يدور حول نجم شبيه بالشمس، لقد تحدّى اكتشافهم أفكارنا حول هذه العوالم الغريبة وقاد إلى ثورة في علم الفلك. تثير الكواكب الخارجية المعروفة - والتي يزيد عددها عن أربعة آلاف - الدهشة في ثراء أشكالها، لأن معظم هذه النظم الكوكبية لا تشبه نظامنا الشمسي. دفعت هذه الاكتشافات الباحثين إلى تطوير نظريات جديدة حول العمليات الفيزيائية المسؤولة عن ميلاد الكواكب.

يبدأ علم الكونيات بالانفجار العظيم

مثّلت العقود الخمسة الماضية عصراً ذهبياً لعلم الكونيات، الذي يدرس أصل الكون وتطوره؛ ففي حقبة الستينيات وضعت اكتشافات جيمس بيبلز الحاسمة الأساس الذي من شأنه تحوّل علم الكونيات من التخمين إلى العلم، مما أثرى هذا المجال، حيث ألهم كتابه الأول علم الكونيات الفيزيائي (1971م) جيلاً جديداً بالكامل من علماء الفيزياء للمشاركة في تطوير هذا المجال، ليس بالافتراضات النظرية وحسب، بل بالملاحظات والقياسات.



يُجيب العلم - ولا شيء غير العلم- عن الأسئلة الخالدة: من أين أتينا وإلى أين نحن ذاهبون؛ وبذلك تم تحرير علم الكونيات من المفاهيم الإنسانية مثل الإيمان والمعنى.

هذه أصدااء كلمات ألبرت آينشتاين منذ أوائل القرن الماضي، كيف أن معجزة هذا العالم أنه قابل للفهم⁽¹⁾.

لم تكن قصة الكون، الرواية العلمية عن تطوره، معروفة إلا في المائة عام الماضية فقبل ذلك كان يُنظر إلى الكون على أنه مستقر وأبدي، ولكن في عشرينيات القرن العشرين اكتشف علماء الفلك أن جميع المجرات تتحرك بعيداً عن بعضها البعض وعنا أيضاً؛ فالكون يتمدد، لذا نعرف حالياً أن كون اليوم مختلف عن كون الأمس وأنه سيكون مختلفاً غداً.

إن ما رآه علماء الفلك في السماء قد تم التنبؤ به سابقاً في نظرية النسبية العامة لألبرت آينشتاين منذ عام 1916م، والتي أصبحت اليوم أساس جميع الحسابات الواسعة النطاق حول الكون.

عندما اكتشف آينشتاين أن النظرية قادت إلى استنتاج مفاده أن الفضاء يتمدد، أضاف ثابتاً إلى معادلاته (الثابت الكوني)⁽²⁾ من شأنه موازنة تأثيرات الجاذبية وجعل الكون مستقراً، لكن هذا الثابت لم يعد ضرورياً بعد أكثر من عقد من الزمان عندما تم رصد تمدد الكون.

وقد اعتبر آينشتاين هذا الثابت هو الخطأ الفادح في حياته، ما كان يعلم أن الثابت الكوني سيعود إلى علم الكونيات في الثمانينيات بقوة، بل ما كان له أن يتخيل أن هذا سيكون من خلال أعمال جيمس بيبلز.

أشعة الكون الأولى تكشف كل شيء

تمدد الكون يعني أنه كان ذات يوم أكثر كثافة وسخونة.

أطلق على اسم ميلاده في منتصف القرن العشرين الانفجار العظيم⁽³⁾، لكن لا يعرف أحد ما ذا جرى بالفعل عند البداية تماماً، فالكون المبكر كان مليئاً بحساء متموج وساخن ومعتم بالكاد تتقافز الفوتونات دائرة فيه. استغرق الأمر ما يقرب من أربعمئة ألف سنة من التمدد ليبرد هذا الحساء البدائي إلى بضعة آلاف درجة مئوية حيث تمكنت الجسيمات الأصلية من الاندماج لتشكل غازاً شفافاً يتكون في المقام الأول من ذرات الهيدروجين والهيليوم، فبدأت الفوتونات آنذاك في التحرك بحرية وكان الضوء قادراً على السفر في الفضاء.

لا تزال هذه الأشعة الأولى تملأ الكون، لقد أدى تمدد الفضاء إلى تمدد موجات الضوء المرئية، بحيث انتهى بها الأمر إلى نطاق الموجات الدقيقة غير المرئية بطول موجي يبلغ بضعة ملليمترات.

في عام 1964 تم التقاط التوهج من ولادة الكون لأول مرة عن طريق الصدفة، من قبل أمريكيين من علماء الفلك الإشعاعي حائزين على جائزة نوبل عام 1978 هما أرنو بينزياس وروبرت ويلسون. ولأنهما لم يتمكنوا من التخلص من "الضجيج" الثابت الذي يلتقطه هوائيهما من كل مكان في السماء، بحثا عن تفسير في عمل

(1) نص عبارة آينشتاين الأصلية: "يَكْمُن الغموض الأبدي الذي يكتنف العالم في القدرة على فهمه... فحقيقة أنه قابل للفهم معجزة".

(2) the cosmological constant

(3) the Big Bang

الباحثين الآخرين، بمن فيهم جيمس بيبلز، الذي قام بإجراء حسابات نظرية لإشعاع الخلفية الكونية، فوجد أن درجة حرارته قد انخفضت إلى ما يقرب من الصفر المطلق (-273 درجة مئوية) بعد ما يقرب من 14 مليار سنة. لقد اهتدى بيبلز إلى هذا الكشف المهم عندما أدرك أن درجة حرارة الإشعاع يمكن أن توفر معلومات حول كمية المادة التي تم إنشاؤها في الانفجار العظيم، وأدرك أن إطلاق هذا الضوء لعب دورًا حاسمًا في كيفية تكثف المادة لاحقًا لتشكيل المجرات والعناقيد المجرية التي نراها الآن في الفضاء.

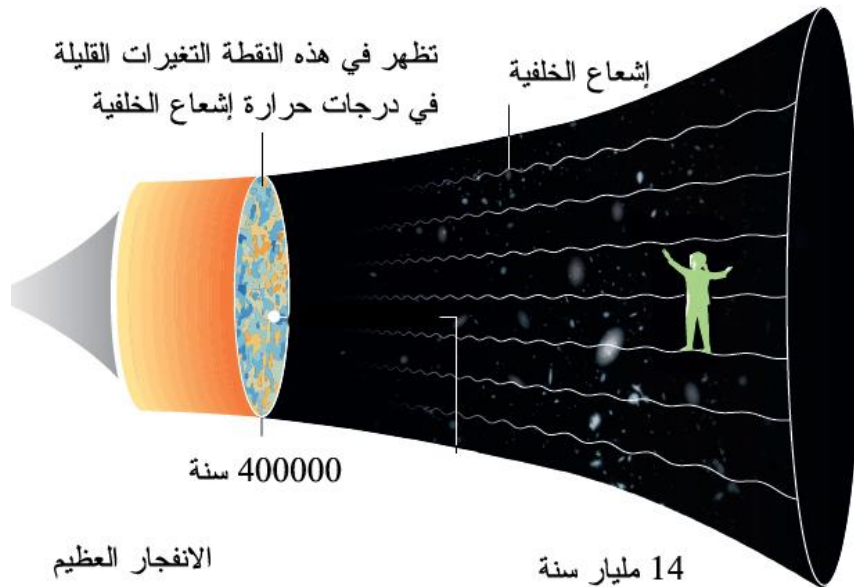
آذن اكتشاف إشعاع الخلفية الكونية بحقبة جديد في علم الكونيات الحديث، فقد أصبح الإشعاع القديم من الكون المبكر منجم ذهب يحوي على إجابات لأغلب ما يريد علماء الكونيات معرفته؛ كم عمر الكون؟ ما مصيره؟ كم كمية المادة والطاقة الموجودة؟

يمكن للعلماء العثور على آثار لحظات الكون الأولى في هذا التوهج البارد، حيث توجد اختلافات صغيرة تنتشر كموجات صوتية من خلال هذا الحساء البدائي المبكر، وبدون هذه الاختلافات الصغيرة كان الكون سيبرد من كرة نار ساخنة إلى فراغ بارد ومتسق، لكننا نعلم أن هذا لم يحدث؛ فالفضاء مليء بالمجرات، كثيرًا ما تجمعت في العناقيد المجرية. إن إشعاع الخلفية ناعم بنفس الطريقة التي يكون بها سطح المحيط ناعمًا؛ الأمواج مرئية عن قرب وتكشف التموجات عن الاختلافات في الكون المبكر.

مرة أخرى، قدّم جيمس بيبلز تفسير هذه الآثار الأحفورية من أقدم حقب الكون بحيث تمكّن علماء الكونيات من التنبؤ بالتغيرات في إشعاع الخلفية بدقة مذهلة وإظهار كيف تؤثر على المادة والطاقة في الكون.

كان أول إنجاز رصدي في أبريل 1992م عندما عرض الباحثون الرئيسيون في مشروع القمر الصناعي الأمريكي كوبي COBE صورة أول أشعة ضوء في الكون (جائزة نوبل في الفيزياء 2006م عن ذلك لكل من جون ماثر وجورج سموت). صقلت أقمار صناعية أخرى - دبليو ماب WMAP الأمريكي وبلانك الأوروبي - تدريجيًا هذه الصورة للكون المبكر. كما هو متوقع تمامًا، فقد تفاوتت درجة حرارة إشعاع الخلفية إلى جزء من مئة ألف من الدرجة.

لقد تم تأكيد الحسابات النظرية للمادة والطاقة الموجودة في الكون بشكل دقيق، حيث أن معظمها، 95 في المائة، غير مرئي لنا.





المادة المظلمة والطاقة المظلمة - أعظم أسرار علم الكونيات

عرفنا منذ ثلاثينيات القرن الماضي أن كل ما يمكننا رؤيته ليس هو كل شيء؛ فقد أشارت قياسات سرعات دوران المجرات أنه يجب أن تكون مادة المجرات مترابطة بواسطة الجاذبية مع مادة غير مرئية وإلا سوف تتمزق. كان يُعتقد أيضًا أن هذه المادة المظلمة لعبت دورًا مهمًا في أصل المجرات، وذلك قبل فترة طويلة من تخفيف الحساء البدائي قبضته على الفوتونات.

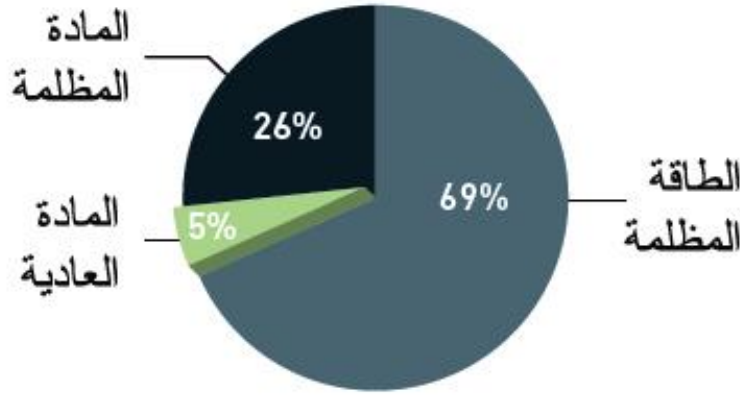
ما يزال تكوين المادة المظلمة أحد أعظم أسرار علم الكونيات؛ فقد اعتقد العلماء منذ فترة طويلة أن النيوتريونات خفيفة الكتلة المعروفة يمكن أن تشكل هذه المادة المظلمة، لكن أعدادها التي لا يمكن تخيلها والتي تعبر الفضاء كالضوء تقريبًا في سرعته تكون أسرع من أن تساعد في تماسك المادة، بدلا من ذلك فقد اقترح بيبلز في عام 1982م أن الجسيمات الثقيلة والبطيئة للمادة المظلمة الباردة يمكن أن تقوم بهذه المهمة. لا يزال البحث عن هذه الجزيئات المجهولة من المادة المظلمة الباردة والتي لا تتفاعل مع المواد المعروفة وتشكل 26 في المائة من الكون.

وفقًا لنظرية آينشتاين العامة في النسبية، فإن هندسة الفضاء مرتبطة بالجاذبية - فكلما زادت الكتلة والطاقة في الكون يصبح الفضاء أكثر انحناء، لكن عند قيمة حرجة للكتلة والطاقة لا ينحني الكون. هذا النوع من الكون، الذي لا يلتقي فيه خطان متوازيان أبدًا، يُسمى عادةً مسطحًا. هناك خياران آخران؛ هما كون بمادة قليلة للغاية، مما يؤدي إلى كون مفتوح حيث تتباعد فيه الخطوط المتوازية في نهاية المطاف، أو كون مغلق بمادة كثيرة، حيث تتقاطع فيه الخطوط المتوازية في النهاية.

قدمت قياسات إشعاع الخلفية الكونية، وكذلك الحسابات النظرية، إجابة واضحة - الكون مسطح، ومع ذلك فإن المادة التي يحتويها لا تكفي إلا لنسبة 31 في المائة من القيمة الحرجة، منها 5 في المائة من المادة العادية و26 في المائة من المادة المظلمة، أما معظم مادته 69 في المائة كان مفقودًا. قدّم جيمس بيبلز مرة أخرى حلًا جذريًا في عام 1984م، حيث ساهم في إحياء ثابت آينشتاين الكوني، الذي يمثل طاقة الفضاء الخالي، وقد سُميت بالطاقة المظلمة وتشغل 69 في المائة من الكون. تكفي الطاقة المظلمة مع المادة المظلمة الباردة والمادة العادية لدعم فكرة الكون المسطح.

ظلت الطاقة المظلمة مجرد نظرية لمدة 14 عامًا، حتى تم اكتشاف التسارع في تمدد الكون عام 1998م (جائزة نوبل في الفيزياء 2011م عن ذلك لكل من ساول بيرلماتر وبريان شميدت وآدم ريس). هناك شيء آخر غير المادة يجب أن يكون مسؤولاً عن التمدد السريع المتزايد - هناك طاقة مظلمة مجهولة تدفعه، وهكذا أصبحت هذه الإضافة النظرية حقيقة يمكن رصدها في السماء.

لقد صار الآن كلُّ من المادة المظلمة والطاقة المظلمة من بين أعظم الألغاز في علم الكونيات؛ فلا نعرفهما إلا من خلال تأثيرهما على محيطهما - المادة المظلمة تجذب والطاقة المظلمة تدفع، خلاف ذلك لا نعرف الكثير عنهما. ما هي الأسرار المحجوبة في هذا الجانب المظلم من الكون؟ ما هي الفيزياء الجديدة المخبأة وراء المجهول؟ ماذا سوف نكتشف أيضًا في محاولتنا لحل أسرار الفضاء؟



أول كوكب يدور حول شمس أخرى

يتفق معظم علماء الكون الآن على أن نموذج الانفجار العظيم هو قصة حقيقية عن أصل الكون وتطوره، على الرغم من أن المعروف من مادته وطاقته حالياً خمسة في المائة فقط، فإن هذه الكمية الصغيرة من المادة تجمعت في النهاية لتكوين كل ما نراه من حولنا من نجوم وكواكب وأشجار وزهور والبشر أيضاً.

هل نحن وحدنا الشاخص ببصره على الكون؟ هل هناك حياة في أي مكان آخر في الفضاء، على كوكب يدور حول شمس أخرى؟

لا أحد يعلم، لكننا نعرف الآن أن شمسنا ليست وحدها التي لديها كواكب وأن معظم مئات المليارات من النجوم في درب التبانة ينبغي أن يكون لها كواكب مصاحبة أيضاً.

يعرف علماء الفلك حالياً أكثر من أربعة آلاف كوكب خارج المجموعة الشمسية، لقد تم اكتشاف عوالم جديدة غريبة، فلا شيء يشبه نظامنا الكوكبي.

أول كوكب تم اكتشافه كان غريباً لدرجة لم يصدق أحد أن هذا صحيح؛ فقد كان الكوكب أكبر من أن يكون قريباً من نجمه المضيف.

أعلن ميشيل مايور وديدييه كيلوز اكتشافهما المثير في مؤتمر علم الفلك في فلورنس، إيطاليا، في 6 أكتوبر 1995م. لقد كان أول كوكب يثبت أنه يدور حول نجم من النوع الشمسي، أطلق عليه اسم 51 Pegasi b، ويبعد 50 سنة ضوئية عن الأرض. يدور هذا الكوكب بسرعة حول نجمه المسمى 51 Pegasi ويحتاج أربعة أيام لاستكمال مداره، ما يعني أن بعده عن نجمه ثمانية ملايين كيلومتر فقط. يرفع النجم درجة حرارة الكوكب إلى أكثر من 1000 درجة مئوية. مقارنة بالأرض، الأمور هنا أكثر هدوءاً؛ فالأرض تكمل دورانها حول الشمس في عام وتبعد 150 مليون كيلومتر عنها.

تبين أيضاً أن هذا الكوكب المكتشف حديثاً كبير بشكل مذهل - فهو كرة غازية مماثلة لكوكب المشتري أكبر عملاق غازي في المجموعة الشمسية. مقارنة بالأرض، حجم كوكب المشتري أكبر من الأرض بـ 1300 مرة ويزن 300 مرة بقدرها. وفقاً للأفكار السابقة حول كيفية تكوين أنظمة الكواكب، ينبغي أن تنشأ الكواكب بحجم كوكب المشتري بعيداً عن نجومها المضيئة، وبالتالي تستغرق وقتاً طويلاً للدوران حولها. يستغرق كوكب



المشتري حوالي 12 عامًا لإكمال دورة واحدة حول الشمس، لذلك كانت الفترة المدارية القصيرة لـ 51 Pegasi b بمثابة مفاجأة شاملة لمستكشفي الكواكب الخارجية، لقد كانوا يبحثون في المكان الخطأ.

على الفور بعد هذا الإعلان، وجّه عالما الفلك الأمريكيان بول بتلر وجيفري مارسلي تلسكوبهما نحو النجم 51 Pegasi، وكنا قادرين سريعاً على تأكيد ثورية اكتشاف مايور وكلوز. بعد بضعة أشهر فقط، عثرا على كوكبين خارجيين جديدين يدوران حول نجوم شمسية، كانت فتراتها المدارية القصيرة مفيدة للفلكيين الذين لم يحتاجوا إلى الانتظار لعدة أشهر أو سنوات لرؤية كوكب خارجي يدور حول شمس، حالياً لديهم متسع من الوقت لمشاهدة الكواكب وهي تدور.

كيف اقتربت الكواكب الخارجية من نجومها؟

لقد تحدى السؤال النظرية الحالية لأصول الكواكب وقاد إلى نظريات جديدة تصف كيفية نشوء كرات كبيرة من الغاز عند أطراف أنظمتها الشمسية، ثم دورانها حول نجمها المضيف.

الأساليب الدقيقة قادت إلى الاكتشاف

تعتبر الأساليب المتطورة ضرورية لتتبع كوكب خارجي - فالكواكب لا تنوهج من تلقاء نفسها، فهي ببساطة تعكس ضوء النجم بشكل ضعيف، لذا فضوؤها يُخمد ببريق الضوء الساطع للنجم المضيف.

تستخدم مجموعات البحث للعثور على كوكب طريقة تُسمى طريقة السرعة الشعاعية ⁽⁴⁾؛ التي تقيس حركة النجم المضيف عندما يتأثر بجاذبية كوكبه؛ فعندما يدور الكوكب حول نجمه، يدور النجم أيضًا نوعاً ما - فكلهما يتحركان حول مركز جاذبيتهما المشتركة، ويظهر من نقطة المراقبة على الأرض، أن النجم يتميل ذهاباً وإياباً في خط الرؤية.

يمكن قياس سرعة هذه الحركة، السرعة الشعاعية، باستخدام تأثير دوبلر المشهور - أشعة الضوء من جسم يتحرك نحونا تكون أكثر زرقة، وإذا كان الجسم يتحرك بعيداً عنا فإن الأشعة تكون حمراء؛ هذا هو نفس التأثير الذي نسمعه عندما تزداد حدة صوت سيارة الإسعاف حينما تقترب نحونا وتنخفض الحدة عندما تبتعد.

لذا يغيّر تأثير الكوكب لون ضوء النجم بالتناوب نحو اللون الأزرق أو الأحمر؛ وهذه التغيرات في الطول الموجي للضوء هي ما تلتقطه أجهزة علماء الفلك.

يمكن تحديد التغيرات في اللون بدقة عن طريق قياس الأطوال الموجية لضوء النجم، مما يوفر مقياساً مباشراً لسرعته في خط الرؤية.

التحدي الأكبر هو أن السرعات الشعاعية منخفضة للغاية؛ على سبيل المثال، تدفع جاذبية كوكب المشتري الشمس لتدور بسرعة حوالي 12 م/ث حول مركز جاذبية النظام الشمسي. في حين تساهم الأرض بـ 0.09 م/ث فقط، مما يضع متطلبات استثنائية على حساسية الجهاز إذا كانت الكواكب التي سيتم اكتشافها تشبه الأرض.

(4) طريقة السرعة الشعاعية the radial velocity method

لزيادة الدقة، يقيس الفلكيون عدة آلاف من الأطوال الموجية في وقت واحد.

يقوم منظار تحليل الطيف (5) بتجزئة الضوء إلى أطوال موجية مختلفة، وهي أهم هذه المقاييس.

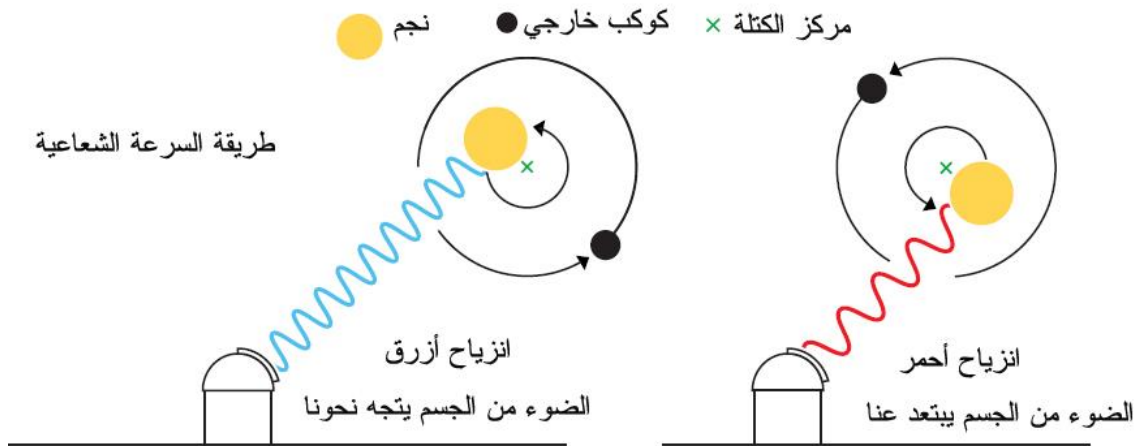
في أوائل التسعينيات، عندما بدأ ديديه كيلوز مسيرته البحثية في جامعة جنيف، كان ميشيل مايور قد قضى سنوات عديدة في دراسة حركة النجوم وصنع أدوات القياس الخاصة به بمساعدة باحثين آخرين؛ فقد تمكن مايور في عام 1977م من تركيب أول مطياف له على تلسكوب في مرصد هوت بروفانس، الذي يبعد 100 كيلومتر شمال شرق مرسيليا، مما سمح هذا بخفض السرعة الشعاعية إلى 300م/ث، ولكنها ما تزال مرتفعة جدًا لرؤية كوكب يجذب نجمه.

إلى جانب مجموعة البحث، كُلف طالب الدكتوراه ديديه كيلوز بتطوير منهجًا جديدًا من أجل قياسات أكثر دقة تستخدم العديد من التقنيات الجديدة التي مكنت من مراقبة العديد من النجوم بسرعة وتحليل النتائج بنفس الموقع.

يمكن أن تنقل الألياف الضوئية ضوء النجوم إلى منظار تحليل الطيف دون تشويبه، حيث زادت مستشعرات الصور الرقمية الأفضل، أجهزة اقتران الشحنات (6)، من حساسية ضوء الجهاز (جائزة نوبل في الفيزياء 2009م عن ذلك لكل من تشارلز كاو، ويلارد بويل وجورج سميث)، وكذا مكّنت أجهزة الكمبيوتر العملاقة العلماء من تطوير برامج مخصصة لمعالجة الصور والبيانات الرقمية.

عندما تم الانتهاء من مرسمة الطيف الجديدة في ربيع عام 1994م، انخفضت السرعة اللازمة إلى 10-15م/ث، وكان أول اكتشاف لكوكب خارجي يقترب بسرعة.

في ذلك الوقت، لم يكن البحث عن الكواكب الخارجية جزءًا من علم الفلك السائد، لكن كلا من مايور وكيلوز قررا الإعلان عن اكتشافهما؛ لقد أمضيا عدة أشهر في تحسين نتائجهم، وفي أكتوبر 1995م كانا على استعداد لتقديم أول كوكب مكتشف إلى العالم.



spectrograph (5)

CCDs (6)

تم الكشف عن العديد من العوالم

اكتشاف أول كوكب خارجي يدور حول نجم من النوع الشمسي- قد أحدث ثورة في علم الفلك، وكشف النقاب عن آلاف العوالم الجديدة المجهولة.

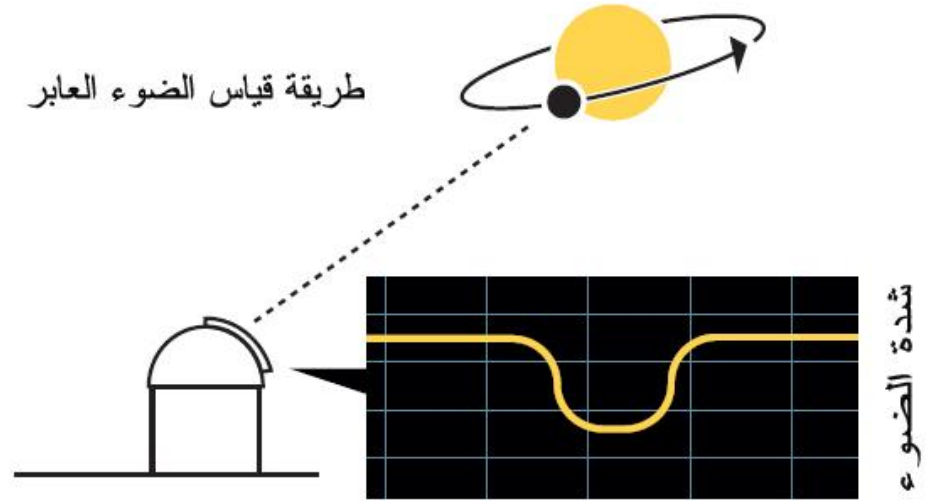
حاليا لا يتم اكتشاف أنظمة كوكبية جديدة بواسطة التلسكوبات على الأرض فقط، ولكن أيضًا من خلال الأقمار الصناعية؛ يقوم تيس TESS، تلسكوب فضائي أمريكي، حاليا بمسح أكثر من 200000 من النجوم الأقرب إلينا، بحثًا عن كواكب شبيهة بالأرض.

وقد حقق تلسكوب كيبلر الفضائي في السابق نتائج ثرية؛ حيث اكتشف أكثر من 2300 كوكب خارجي.

جنبًا إلى جنب مع الاختلافات في السرعة الشعاعية، يتم استخدام الطريقة الانتقالية أو قياس الضوء العابر (7) عند البحث عن الكواكب الخارجية.

تقيس هذه الطريقة التغيرات في شدة ضوء النجم عندما يمر كوكب أمامه، بشرط أن يحدث هذا في خط رؤيتنا. كما يسمح قياس الضوء العابر لعلماء الفلك بمراقبة جو الكوكب الخارجي عندما يمر الضوء من النجم في الطريق نحو الأرض.

في بعض الأحيان يمكن استخدام الطريقتين معًا؛ فيقدّر قياس الضوء العابر حجم الكوكب الخارجي، بينما يمكن أن تحدد طريقة السرعة الشعاعية كتلته، بعد ذلك من الممكن حساب كثافة الكوكب الخارجي وبالتالي تحديد بنيته.



لقد فاجأتنا الكواكب الخارجية المكتشفة حتى الآن بمجموعة مذهلة من الأشكال والأحجام والمدارات، وتحدث أفكارنا السابقة حول أنظمة الكواكب ودفعت الباحثين لمراجعة نظرياتهم حول العمليات الفيزيائية المسؤولة عن ولادة الكواكب.



مع كثرة المشاريع المخططة للبدء بالبحث عن كواكب خارجية، ربما في الأخير سنجد الإجابة عن السؤال الخالد؛ هل هناك حياة أخرى بعيدا عن الأرض.

لقد غيّر الفائزون هذا العام أفكارنا حول الكون؛ عندما ساهمت الاكتشافات النظرية لجيمس بيبلز في فهمنا لكيفية تطور الكون بعد الانفجار العظيم، فقد استكشف ميشيل مايور وديديه كيلوز الأحياء الكونية المجاورة لنا للبحث عن كواكب مجهولة.

لقد غيّرت اكتشافاتهم مفاهيمنا عن الكون إلى الأبد.

مصدر المقالة:

New perspectives on our place in the universe

<https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/popular-physicsprize2019.pdf>