Department of Physics
הפקולטה לפיזיקה

مُقابلة مع فينسانت ديجاك | فهم تشكيل الهياكل في الكون

مِمَّ يتكوَّن الكون؟ كيف تم تشكيل الهياكل في الكون؟ هذه ليست سوى بعض الأفكار التي كانت تشغل فينسانت ديجاك وهو لا يزال طفلًا في وطنه الأصلي، سويسرا. بعد أن أنهى اللقب الثَّاني في الفيزياء، الذي بحث خلاله في مجال الفيزياء الفلكيَّة وعلم الكون، أقام فينسانت في إسرائيل كجزء من الخدمة العسكرية الإلزامية للجيش الفرنسي، وفي الوقت نفسه قام بتنفيذ مشروع بحثي في كلية الفيزياء في التخنيون تحت إشراف عدي نصر. بعد إنهائه للخدمة قرر البقاء في التخنيون وأكمل الدكتوراه في الفيزياء. وبعد إنهائه زمالة ما بعد الدكتوراه في الجامعة العبرية وأخرى في جامعة زيوريخ، تابع إلى جامعة جنيف حيث عمل أستاذاً مساعداً لعدة سنوات. في العام 2016 عاد فينسانت إلى هيئة التَّدريس في التَّخنيون، وهو حاليًا عضو في مجموعة أبحاث الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات في كلية الفيزياء. " لقد استمتعت بأجواء التَّخنيون، على مستوى البحث وعلى المستوى الشخصي، وكنت سعيدًا بالعودة إلى هنا ومواصلة عملي في مجال علم الكونيات"، يقول فينسانت بالعبريَّة، بطلاقة.

علم الكونيات، فرعٌ في الفيزياء الفلكيَّة، يُعنَى ببحث تكوين، بنية وتطور الكون ككل. يمكننا وصف عالمنا من خلال النموذج الكوني القياسي. النموذج يدمج النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، الذي يصنف الجزيئات الأولية، وثلاثة من القوى الأساسيَّة الأربع في الطَّبيعة (ضعيفة، قوية وكهرومغناطيسية)، مع النَّظريَّة النسبية العامة التي تصف الجاذبية (القوَّة الأساسيَّة الرَّابعة)، والتي يشمل، أيضا، التضخم الكوني الذي يُعتبر نقطة الانطلاق للكون كجزء من نموذج "الانفجار الكبير". التضخم الكوني هو حدث وقع في الكون القديم للغاية وخلاله انتشر الكون أضعافا مضاعفة في وقت قصير جدا، ابتداء من 10-36 ثانية بعد الانفجار الكبير إلى 10-32 ثانية. النموذج الكوني للكون يشير، أيضًا، إلى وجود طاقة مظلمة تدفع عالمنا إلى التوسع اليوم بوتيرة متسارعة. بالإضافة إلى ذلك ، تشير المُشاهدات إلى وجود مادة مظلمة تشكل معظم المادة في الكون. وتصبح الصورة أكثر تعقيدًا عندما ننظر إلى الهياكل على نطاق واسع في الكون.

وَصَل فينسانت إلى التَّخنيون بعد فوزه بمنحة بحث من الصّندوق الوطني للعلوم. والغرض من هذه الدراسة هو تحديد اضطرارات نظرية لتشكيل الهياكل على نطاق واسع في الكون. إن فهم توزيع المجرات سيمكننا من استخراج معلومات عن بداية الكون، حول طبيعة المادة المظلمة وطبيعة الجاذبية (هل هي حقًا كما وصفها أينشتاين في النسبية العامة؟). البحث مُخَصَّص لفحص امتدادَين للنموذج الكوني. الأوَّل يتعلَّق بالأدلَّة الرَّصدية على أن النيوترونات توجد لها كتلة ليست صفراً، والثَّاني يتعلق بالتضخم الكوني والتقلبات في بداية الكون. هذان الامتدادان في النموذج يتركان تأثيرات صغيرة على الهياكل، على نطاق واسع في الكون.

النيوترونات هي جسيمات أولية تتفاعل من خلال القوة الضعيفة ، محايدة كهربائيًا ويفترض أن تكون بدون كُتلة وفقًا للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات. ترتبط النيوتريونات بثلاثة جسيمات أولية أساسية - الإلكترون، والميون ، والتاو، وبالتالي، تأتي في ثلاث "نكهات" (أو أنواع): إلكترون نيوترينو، نيوترينو الميون ونيوترينو تاووي. شمسنا، على سبيل المثال تنتج إلكترون نيوترينو فقط، كمنتج من التفاعلات النووية في النَّواة. في الستينيات من القرن العشرين، ظهرت مشكلة في هذه الصورة عندما قاد راي ديفيس تجربة لقياس تدفق النيوتريونات الشمسية على الأرض ووجد أنها كانت حوالي ثلث ما كان متوقعًا، فقط. اتضح فيما بعد أن النيوتريونات يمكنها بالفعل "تغيير طبيعتها" وتتأرجح، وفقًا للنظريَّة الكميَّة، من نوع إلى آخر، مما يجعل النيوترونات الإلكترونية النقية تغير مذاقها وتتحوّل، خلال تتقدمها إلينا، إلى نيوترونات الميون ونيوترينو تاو.

يمكن تفسير تذبذبات النيوترينو إذا كان لاثنين من النيوترونات على الأقل كتلة ليست صفرا والتي تختلف قليلا بين نكهة وأخرى ("نيوترونات ضخمة"، فيما يلي). فاز ديفيس بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2002 إلى جانب مستوشي كوشيبا لاكتشاف النيوترونات الكونية، وفي العام 2015 مُنحت جائزة نوبل لآرثر (آرت) ماكدونالد لاكتشافه التَّذبذبات عن طريق قياس نكهات النيوتريونات المنبعثة من الشمس. هذه الاختبارات تقيس الفرق في الكتلة بين نكهات النيوترينو، ولكن، للحصول على قيمة الكتلة الدقيقة لكل نكهة، توجد حاجة إلى تجربة من نوع ثانٍ، تُزَوِّدُ بمجموع كُتلها. هذا هو المكان الذي يدخل فيه علم الكونيات إلى الصُّورة.

نظرًا لكون النيوترونات ذات كتلة صغيرة للغاية، أقل من 1 إلكترون فولت (ما يقارب 6 أحجام أقل من كتلة الإلكترون)، فإنها تستطيع الانطلاق من البئر الجهدي لجاذبية المجرات. بعد انطلاق النيوترونات، فإنها تُقَلِّل من قوة الجاذبيَّة للبئر الجُهدي لكونها هي ضخمة. بالتالي، كلما ازدادت كتلة النيوترونات، هكذا أيضًا، تزداد قوة التأثير الكوني. الكتلة الإجمالية التي تتم إزالتها من البئر، تُضيف المعلومات الضرورية لاستخراج كتلة كل واحد من نكهات النيوترينو. تبحث مجموعة التخنيون الجانب النظري للنيوترونات الضخمة من خلال محاكاة تأثيرها على بنية الكون، وفقًا لكُتلتها. نظرًا لأن النيوترونات لها كتل صغيرة جدًا، فمن المتوقع أن تكون التأثيرات صغيرة، وتوجد حاجة إلى نموذج تحليلي دقيق. إيرز تسينمان، وهو طالب للّقب الثَّاني لدى فينسانت، قام بإجراء تحليل يرتكز على المفهوم أن النيوترونات لا تصطدم. هذا الافتراض يمكّنه من تبسيط المعادلات التي تصف تأثيرها. بعد ذلك ، سيكون من الممكن دراسة التوقعات التحليلية في عمليات المحاكاة التي تكون فيها الشروط الأولية هي الكون مباشرة بعد عصر التضخم، في نقطة من الوقت كان فيها الكون موحدًا إلى حد التقلبات الصغيرة في توزيع المادة والإشعاع.

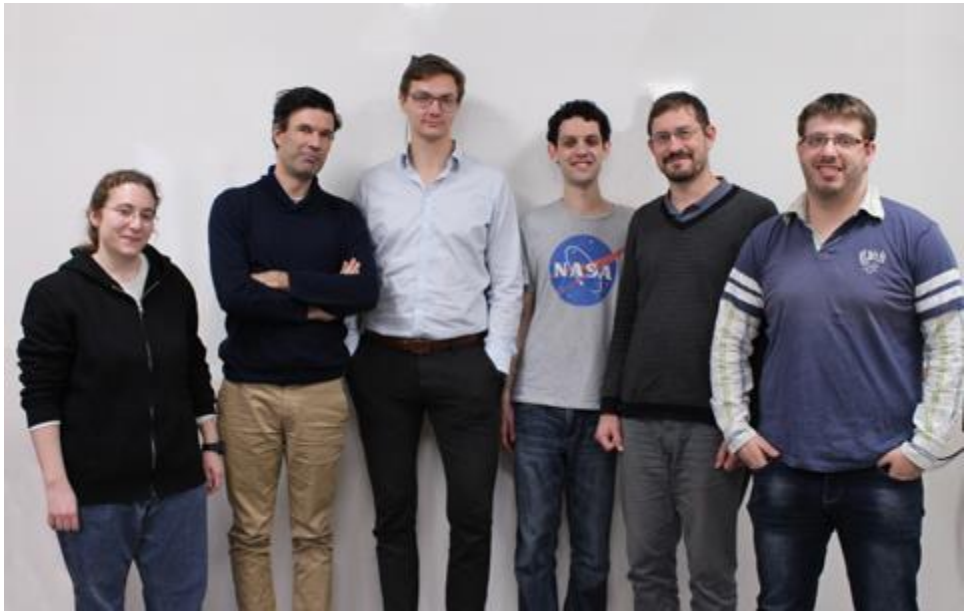
ديمتري جينسبورغ يعمل حاليًا على أطروحة الدكتوراه تحت إشراف فينسانت، مع التركيز على الجوانب المتعلقة بتوزيع **عناقيد المجرات.** كيف تشكَّلت هذه الهياكل؟ كيف يمكننا نمذجة توزيع المجرات؟ من بيانات رصديَّة، نستخلص موقع المجرات، سواء من الموضع الزاوي في السماء والمسافة (الانزياح الأحمر) لكل مجرة. الانزياح الأحمر (أو الانحراف نحو الأحمر) هو تأثير يتغيّر فيه طول الموجة (وتردّدها) لجسم، نتيجة دمج تأثير دوبلر (إنزياح أزرق أو انزياح أحمر) وتمدد الكون. بشكل عام، الانزياح نحو الأحمر نتيجة لتمدّد الكون يكون أكثر على مسافات أكبر ويتسبب في أن تبدو الأجسام الفلكية البعيدة أكثر احمرارًا. وبالتالي، فإن قيمة الانزياح نحو الأحمر هي مؤشر للبُعد.

نظرًا لكون المجرات غير موزّعة بشكل متواصل، بل منفصلة، فإن البيانات تكون "صاخبة". هذا الضجيج ليس ضجيجًا بسيطًا لعدد قليل من الأرقام المنتشرة بشكل عشوائي. هذا الضجيج، عمليًّا، يتعلّق بشكل كبير بخصائص المجرات المشمولة، التي تتطور جنبا إلى جنب مع الانزياح الأحمر. بمعنى آخر، عند نمذجة توزيع المجرات، لاستخراج معلومات حول كتل النيوترينو وما شابه ذلك، يجب علينا، أيضا، نمذجة الضَّجيج بشكل صحيح. يمكن فحص هذه النماذج النظرية لتوزيع المجرات مقابل مُحاكيات، قبل تطبيقها على البيانات الحقيقية. يقوم فريق العمل في التَّخنيون باستخراج المعلومات اللازمة من مُحاكيات قائمة من أجل إنشاء كتالوجات لمجرات "مُتَخَيَّلَة" أو "اصطناعية" تحاكي خصائص المسوحات الحقيقية. من الجدير بالملاحظة أنه نظرًا لأن خصائص كتالوجات المجرات تتعلق بشكل كبير بالانزياح الأحمر، يجب الاختيار، في عمليات المحاكاة نفسها، انزياحات نحو الأحمر وفقًا لنافذة الانزياح الأحمر الخاصَّة بالتلسكوب، أثناء المُشاهَدات في المسوحات الحقيقية.

لغز كوني آخر يتم بحثه في مجموعة فنسانت هو طبيعة المادة المظلمة. هناك بحث مستمر حول هذه الجزيئات الغامضة، لكنها لم يتم اكتشافها بعد. فينسانت يبحث نموذجًا بديلًا للمادّة المُظلمة يُسَمَّى "مادّة مُظلمة أكسيونيَّة"، حيث الجزيئات الأولية الافتراضية، التي تُسَمَّى أكسيونات، قد تكون مكونات المادة المظلمة. في هذا البحث التحليلي، يتخذ فينسانت وباحثون آخرون خطوات لفهم تأثير الأكسيونات الخفيفة على الهياكل في الكون، ابتداء من "ألياف" كبيرة (مناطق بكثافة عالية) من الغاز بانزياح عالٍ نحو الأحمر، حتَّى الأجسام الفيزيائيَّة الفلكيَّة في الكون القريب منا، مثل النجوم النابضة الثنائيَّة. " إنني أجد أن الأسئلة حول ما حدث في الكون المبكر هي الأكثر إثارة، وهي التي تدفع يوم عملي وترافقني منذ اللحظة التي أستيقظ فيها في الصباح حتى أذهب للنوم. أعتقد أنه خلال حياتي العلمية سوف نحل اللغز حول طبيعة المادة المظلمة ونُجيب عن الأسئلة المفتوحة الأخرى، وفي الوقت نفسه، سوف تنشأ أسئلة جديدة. هذا ما يجعل العلم مثيرا"، يقول فينسانت.

لموقع فنسانت، اضغط هنا

بواسطة إفرات صباح



في الصُّورة (alt): مجموعة البحث التَّابعة لفينسانت ديجاك. أعضاء المجموعة (من اليمين إلى اليسار)، إيرز تسينمان، ديمتري غينزبورغ، يونداف بري جينات، روبرت ريشكا، فينسانت ديجاك، مور روزنر