السيولة الفائقة.. أغرب حالات المادة!

تنتاب بعض السوائل حالة من «الجنون» عندما تقترب درجة حرارتها من الصفر المطلق (٢٧٣,١٥ مئوية تحت الصفر) إذ أنها تتدفق إلي أعلي دون مقاومة وتنساب بلا توقف علي جوانب الأوعية الحاوية لها مهملة قوي الاحتكاك والجاذبية كما أنه بإمكان هذه السوائل التي توجد في درجات الحرارة البالغة الانخفاض أن تخترق الطوب والدوران بلا توقف في أنبوب من تلقاء نفسها دون أن تخفض من سرعتها، أنها أغرب حالات المادة والتي يطلق عليها «السيولة الفائقة» Superfluidity

السائل...العجيب

من المعروف أن المادة توجد في ثلاث حالات صلبة وسائلة وغازية ولكن أضيفت لها حديثًا حالتان البلازما (في درجات الحرارة العالية جداً وفي حالات التأين) والمواد الفائقة الكثافة Hyperdense (كما في النجوم النيوترونية حيث تتقلص المادة في حجم صغير نسبياً وتقترب الجسيمات دون الذرية من بعضها البعض).

وتعد السيولة الفائقة هي حالة سادسة للمادة حيث تنقض كل ما نعرفه من قوانين فيزيائية أكيدة للسوائل كما أن تفسير خصائصها غير واضح تماماً حتي الوقت الحاضر وهو يثير جدلاً وتعقيدات علي مستوي الذرة.

لقد تمكن علماء الفيزياء من تسييل – أي التحويل إلي سائل – جميع الغازات المعروفة عدا واحد : الهيليوم. فلقد قاوم هذا الغاز جميع المحاولات مما جعل البعض يعتقدأنه غاز دائم لا يمكن أن يوجد في حالة السيولة أو الصلابة ولكن في عام ١٩٠٨ تمكن العالم الهولندي (كامرلنج أونز) K. Onnes من تحويل الهيليوم إلى سائل. ويعد الهيليوم أبسط العناصر (بعد

الهيدروجين) إذ أن ذرته مكونة من نواة تحوي نيوترونين ويدور حول النواة الكترونان ،وعلي الرغم من هذه البساطة فإن الهيليوم يعتبر من أكثر العناصر غرابة عندما يحوّل إلي حالة السيولة إذ نلاحظ أن الهيليوم السائل عند درجة حرارة حوالي ٢٧١ درجة مئوية تحت الصفر يتصرف وكأنه مكون من مزيج من سائل عادي مع آخر فائق السيولة وهذا الجزء الثاني يبدو معدوم اللزوجة Viscosity ، أي أنه مثالي السيولة من الوجهة الرياضية كما أنه لا يظهر أية مقاومة أو احتكاك لحركة جسم خلاله بالإضافة إلي أنه لا يلتصق بأي جسم، وهذه الظواهر الغريبة لا يمكن أن نجدها في أي سائل عادي. وعند سريان الهيليوم السائل عبر أنابيب رفيعة مجهرية نلاحظ أنه يتحرك بحرية وبسرعة أكبر منها في أنابيب سميكة عادية وهذا مناقض للقوانين المألوفة فمن المعروف أن سريان الماء أو الزيت (الأكثر لزوجة من الماء) عبر أنابيب متناهية الصغر لا يتم إلا بمساعدة قوة ضغط علي السائل (مثل أندفاع السائل عبر أبرة الحقنة الطبية بتأثير المكبس) أما الهيليوم فيتصرف عكس ذلك.

كما أن تأثير الحرارة علي الهيليوم فائق السيولة.. غريب ومحير ! إذ أن انتقال الحرارة خلاله لحظي وهائل السرعة، بعكس السوائل العادية. وتزيد سرعة انتقال الحرارة كلما كان الفرق في درجة الحرارة طفيفًا بين أجزاء السائل الفائق السيولة، وهذا مناقض لما نعرفه وما نتوقعه حيث تزيد سرعة انتقال الحرارة في المواد عادة، كلما كان الفرق في درجة الحرارة بين النقاط الساخنة والباردة كبيراً.

إذن فالهيليوم فائق السيولة فائق التوصيل للحرارة وكنتيجة لذلك فلا يمكن وضعه في حالة غليان، كما نغلي الماء في وعاء، إذ أن أي ارتفاع في درجة الحرارة في جزء منه يعمل علي نقل الحرارة نحو جميع أجزاء السائل بالتساوي فلا تحصل ظاهرة الغليان، ولكنه بالطبع يتبخر عند ارتفاع درجة حرارته، والتبخر يحدث عند السطح فقط. إن موضوع الهيليوم فائق السيولة ممتع ومثير للإنسان العادي ولعلماء الفيزياء ولكنه مثير أيضاً بالنسبة لعلماء الفلك.

الكون.. والأوتار.. والسيولة الفائقة

لحظة بداية الكون أو بتعبير أكثر دقة بعد تريليون تريليون تريليون جزء من الثانية (التريليون = مليون مليون) من الانفجار الأعظم Big Bang. كان الكون كله في ذلك الوقت عبارة عن كرة مضطربة وبالغة السخونة من الطاقة.

وكانت وقتئذ القوي التي نعرفها – الجاذبية والكهرمغنطيسية والقوة القوية والضعيفة التي تحكم الذرات –

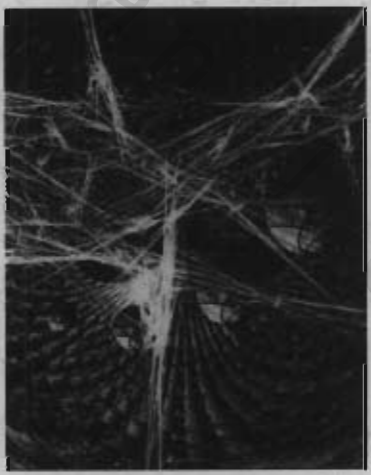
مازالت مندمجة في كيان واحد لكن فجأة تغير هذا المحيط الرهيب من الطاقة المروعة، ومثلما يتحول الماء بغتة إلى ثلج، فقد تخطي الكون درجة حرارة معينة وبدأت القوي الكونية في الانفصال والتفرق.

والمذهل حقًا أن مجموعة من الفيزيائيين يزعمون أنهم استطاعوا تهيئة هذه الظروف – التي سادت في الكون الوليد – في المختبر. وهم يعتقدون أنهم تمكنوا من محاكاة الصفات الهامة للكون حديث الولادة، في قنينة من الهيليوم السائل المبرد بشدة حتي ما يقرب من الصفر المطلق، أي أنه في حالة السيولة الفائقة. ويقول هؤلاء العلماء أن تجاربهم تحمل في طياتها سمات نظرية جديدة سوف تثير الكثير من الجدل.

وطبقًا لهذه النظرية الكونية الحديثة فعندما برد الكون ظهرت بعض العيوب Defects في نسيج الزمكان Space-time تمامًا مثلما تتكون عدة شوائب متبلرة في الماء المتجمد إلي ثلج.

وربما كانت هذه «الشوائب» الكونية – المسماة «الأوتار

الكونية» Cosmic Strings – أرفع من الذرة وطويلة بشكل لا نهائي وذات كتلة هائلة – كانت تمتد عبر الكون كله وعلي الرغم من غرابة هذه الأجسام الكونية فإنها تقدم لنا الحلول لكثير من المشاكل المحيرة التي تواجهنا عند البحث في أصل الكون وبنيته وقوانينه وبسبب الكتلة الهائلة لهذه الأوتار أمكن لمجالات جاذبيتها الجبارة أن تجذب إليها المجرات الأوليّة وبذلك شكلت الأطار للمحتوي المروّع للكون.



لكن ما هي علاقة الهيليوم السائل بكل هذا ؟

تسألني فأجيبك : عندما يبرد الهيليوم إلي أدنى درجة حرارة ممكنة علي الإطلاق – أي الصفر المطلق – فإنه يتحول فجأة إلى سائل لا يتأثر بالاحتكاك Frictionless Fluid، كما يحدث للسوائل الأخرى، وهي حالة غريبة حقًا ويسميها الفيزيائيون «السيولة الفائقة» . وعندئذ تتدفق معظم ذرات الهيليوم فائق السيولة مع بعضها البعض في تتابع قريب وفي «خطوة» موحدة ومنظمة.

وفي هذه الحالة الغريبة فإن الهيليوم يشبه إلى حد كبير «الفراغ» vacuum في الفضاء، إذ يمكن للجسيمات دون الذرية أن تتحرك خلال الهيليوم فائق السيولة دون أن تلاقي أية مقاومة. وتتكون أحياناً تموجات دقيقة تلقائية مثل الجسيمات الافتراضية virtual particles التي تظهر وتختفي فجأة في زمن متناهي الصغر في «فراغ» الكون.

بيد أن الأمر البالغ الأهمية هو ذلك التماثل الشديد للمعادلات الرياضية التي تفسر كلا من انتقال الهيليوم السائل

إلى حالة السيولة الفائقة وتلك التحولات التي يعتقد الفيزيائيون أنها حدثت في الكون الوليد عندما برد وكوّن الأوتار الكونية أى أنه يمكن للفيزيائيين استخدام نفس المعادلات التي تصف خلق الأوتار الكونية للتنبؤ بما سيحدث للهيليوم فائق السيولة عند تسخينه ثم تركه ليبرد مرة أخري.

والواضح أن السائل فائق السيولة بعد تسخينه سوف يخلق عدداً من الحركات الدوامية vortices، التي يمكن تفسيرها بنفس المعادلات الرياضية التي تشرح تكوين الأوتار الكونية. فإذا ظهر العدد المتوقع مسبقًا من الدوامات فإن الرياضيات التي تفسر كلا من تكوين الأوتار الكونية والسيولة الفائقة سون تكون صحيحة ومن ثم يعد هذا تعزيزاً لصحة نظرية الأوتار الكونية.

وقد نجح بعض العلماء في اختبار صحة هذا الافتراض العلمي. كيف ؟

لقد بدأوا بتبريد أسطوانة دوّارة محتوية علي هيليوم إلي نحو ٠,٠٠١ من الدرجة المئوية فوق الصفر المطلق وهي درجة حرارة أسفل خط الانتقال من حالة السيولة العادية إلي حالة السيولة الفائقة ثم أطلقوا نيوترونا (جسيم دون ذري متعادل الشحنة) خلال السائل فائق السيولة، عمل علي تسخين منطقة تبلغ نحو

٠,٠٠١ من السنتيمتر بطاقة تكفي بالضبط لتغييرها إلى سائل عادي لفترة تقدر بحوالي واحد من مليون من الثانية. وعند تبريد هذه المنطقة مرة أخري إلى حالة السيولة الفائقة تكونت الدوامات الدقيقة وعملت الأسطوانة الدوّارة علي تقوية الدوامات والمحافظة عليها لفترة طويلة تكفي لتحديد مكانها بواسطة جهاز كاشف مغنطيسي Magnetic Detector ووجد الفيزيائيون أن أطلاق نيوترون واحد ينشئ عدداً من الدوامات يصل إلي نحو عشرين دوامة، وهو عدد يتفق تماماً مع توقعات الافتراض العلمي بوجود علاقة بين تكوين الأوتار الكونية والسيولة الفائقة.

وهكذا ثبت أن الهيليوم فائق السيولة – الذي أجري الباحثون عليه تجاربهم – نموذج جيد للكون المبكر، مما حدا بالعلماء إل البحث في مشاكل كونية عميقة أخري بدءاً من مصدر الجاذبية حتي ندرة وجود مادة المضادة Anti Matter وهي أمور كونية غامضة تقع في بؤرة الاهتمام العلمي في الحاضر والمستقبل.