

Expérience de cosmologie

Des tourbillons dans de l'hélium superfluide modélisent les cordes cosmiques formées dans les premiers instants de l'Univers.

Quelques instants après le Big Bang, l'Univers primordial, en se refroidissant, subit des transitions de phases. Celles-ci engendrent des défauts topologiques, telles les cordes cosmiques, filaments massifs qui seraient les germes des galaxies. Lorsque l'on abaisse la température de l'hélium 3 à quelques millièmes de degré au-dessus du zéro absolu, des filaments tourbillonnaires, analogues aux cordes cosmiques, peuvent apparaître dans l'hélium superfluide. En mesurant la densité des filaments tourbillonnaires créés dans de l'hélium superfluide, des chercheurs du Centre de recherche sur les très basses températures de Grenoble et du Laboratoire des basses températures d'Helsinki ont simulé la formation des cordes cosmiques.

Les transitions de phase engendrent des brisures de symétrie, transformant des états symétriques en des états asymétriques. Un cristal est moins symé-

trique qu'un liquide. Lors de la transition de phase qu'est la congélation de l'eau, des défauts topologiques apparaissent dans la glace (par exemple des paillettes) quand plusieurs zones cristallisent selon des directions différentes.

Personne ne sait combien de transitions de phase a subies l'Univers, mais toutes ces transitions se sont produites lors de la première seconde après le Big Bang. Elles ont pu engendrer des défauts où de l'énergie d'un Univers symétrique a été piégée. Des cordes cosmiques massives, où sont concentrées de grandes quantités d'énergie, se sont alors formées. Leur masse aurait entraîné l'effondrement gravitationnel de la matière environnante, constituant ainsi les galaxies.

Cette hypothèse séduit T. Kibble, du Collège impérial de science et technologie de Londres, qui propose des scénarios de formation des cordes cosmiques au cours de transitions de phase,

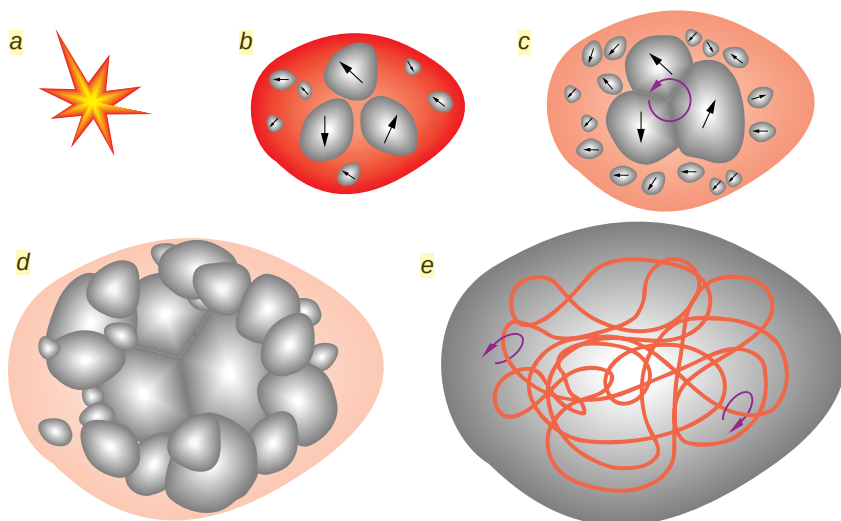
et estime la densité de ces cordes lors de leur formation. Même si la densité des cordes cosmiques est celle prédite par T. Kibble, leur détection est hors de portée des instruments actuels. Aussi, pour confronter cette estimation à l'expérience, on procède par analogie : la physique qui gouverne les transitions de phase est la même, quelle que soit la température. En mesurant la densité des filaments tourbillonnaires formés au cours d'une transition de phase entre l'hélium liquide et l'hélium superfluide, on pourrait déterminer la densité des cordes cosmiques formées aux premiers instants de l'Univers, lorsque la température était de 10^{28} kelvins.

L'UNIVERS DANS UN TUBE À ESSAI

L'équipe grenobloise, en collaboration avec des chercheurs de l'Université de Lancaster, a refroidi une petite quantité d'hélium 3 à la température de 160 microkelvins. Ils bombardent alors l'hélium superfluide avec des neutrons. Chaque neutron sert à chauffer brièvement une petite quantité d'hélium au-dessus de sa température critique : l'hélium est alors sous la forme de bulles de liquide normal.

En se dilatant, ces bulles chaudes refroidissent sous la température critique : elles redeviennent alors superfluides. Cette transition de phase n'est pas homogène, car des régions différentes du fluide refroidissent indépendamment. Comme, contrairement à un liquide normal, un superfluide est un liquide orienté (tel un cristal liquide), les différentes régions superfluides qui se forment sont orientées différemment. Le superfluide final ne peut alors être uniforme, et des défauts topologiques apparaissent sous la forme d'un enchevêtrement de tourbillons. L'énergie déposée par les neutrons étant bien connue, l'énergie qui s'échappe sous forme de chaleur est la quantité d'énergie nécessaire à la formation des tourbillons. Dans le groupe d'Helsinki, l'expérience est analogue, et une procédure permet de compter les tourbillons créés.

La densité spatiale des tourbillons déduite de ces expériences confirme la prédiction de T. Kibble sur la densité initiale des cordes cosmiques. Cependant, la confirmation expérimentale du mécanisme qui crée des défauts topologiques ne suffit pas à montrer que les cordes cosmiques existent. Pour cela, il faudra les détecter dans l'Univers, par exemple en observant des discontinuités linéaires dans le rayonnement du fond cosmologique, ou en observant les variations de la période de pulsars millisecondes dues au rayonnement gravitationnel émis par des cordes cosmiques. □



Une réaction nucléaire entre un neutron et un noyau d'hélium superfluide crée une région chaude de fluide normal (a). Le refroidissement n'est pas homogène : des bulles de superfluide apparaissent quand la température locale est inférieure à 2,7 millikelvins. Comme les bulles de superfluide se forment indépendamment, tels des cristaux de glace, leurs orientations (leurs arrangements internes) sont différentes, ce qui est représenté par les flèches noires (b). Lorsque les trois régions centrales se touchent (c), il se forme un tourbillon (flèche violette). Un réseau de tourbillons est créé le long des frontières entre les bulles de plus en plus nombreuses (d). Finalement, toute la région est superfluide, et il ne demeure qu'un enchevêtrement de tourbillons (e).