

Bouillants noyaux

Lorsque qu'un noyau atomique se «vaporise», sa température baisse brièvement.

Avez-vous déjà renversé de l'eau sur une plaque chauffante à 300 °C? Loin de disparaître, les perles liquides qui se forment sont projetées de droite et de gauche, parce que leur base se vaporise instantanément au contact de la plaque. Selon les lois classiques de la thermodynamique, sa température se maintient à 100 °C tant qu'une goutte «survit». Philippe Chomaz du GANIL, et Francesca Gulminelli, à l'Université de Caen, ont émis l'hypothèse que la température d'une goutte assez petite baisse brièvement pendant son ébullition! Ils ont eu cette intuition après qu'un autre physicien du GANIL, Bernard Borderie, a observé un phénomène thermodynamique comparable à ce qui arrive à une goutte d'eau sur une plaque chauffante : la «vaporisation nucléaire».

Au GANIL, ces physiciens étudient le comportement thermodynamique d'un système nucléaire dont on augmente l'énergie interne. Pour cela, ils précipitent des noyaux les uns contre les autres, et fabriquent des «systèmes nucléaires chauds», c'est-à-dire des milieux intermédiaires constitués de nucléons (protons ou neutrons). En faisant varier l'énergie du choc, ils en modifient la température. Ils ont ainsi mesuré trois régimes différents de collision : l'évaporation nucléaire, la multifragmentation et la vaporisation nucléaire. L'évaporation se produit à des énergies de collision relativement basses ; les deux noyaux sont peu modifiés, mais laissent échapper des particules légères, telles que des protons (des noyaux d'hydrogène) ou des deutons (un proton et deux neutrons). Quand l'énergie du choc augmente (dès 2×10^{13} joules par nucléon), le milieu nucléaire intermédiaire émet de nombreuses particules et des fragments lourds (plus lourds que des noyaux d'hélium) : c'est la multifragmentation. La vaporisation a lieu lorsque l'énergie de collision dépasse 5×10^{15} joules par nucléon ; le

milieu nucléaire intermédiaire est alors comparable à un gaz de particules constitutives des noyaux, contenu dans un volume triple de celui des noyaux avant la collision. Alors que les deux premiers régimes étaient connus depuis plusieurs années, la vaporisation a été découverte récemment au GANIL.

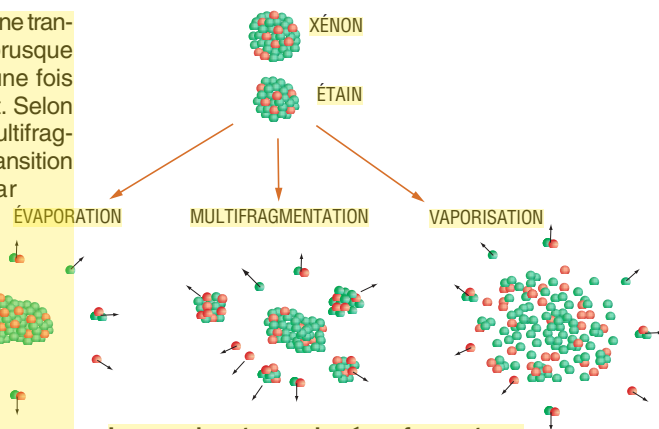
B. Borderie et ses collègues ont notamment envoyé un faisceau de noyaux de xénon (54 protons et 77 neutrons) sur une cible d'étain (50 protons et 69 neutrons). Dans le cas d'une collision frontale, ces deux noyaux fusionnent en un seul système nucléaire chaud, dont l'énergie dépend des conditions du choc. Après de multiples collisions, l'équipe a déterminé la capacité calorifique du milieu nucléaire intermédiaire en fonction de son énergie interne. La capacité calorifique d'un système est l'énergie qu'il faut lui fournir pour augmenter sa température de un kelvin. Cette grandeur est en général positive. Toutefois, dans le cas du milieu nucléaire intermédiaire, on constate que lorsque l'énergie interne atteint 4×10^{13} joules – soit l'équivalent d'une température de 70 milliards de degrés! – la capacité calorifique devient brièvement négative. L'énergie interne du milieu nucléaire intermédiaire décroît durant un court instant avant de recommencer à augmenter. Sur la courbe tracée par les physiciens, le phénomène se traduit par une «divergence».

Un tel comportement atteste d'une transition de phase, c'est-à-dire du brusque changement d'état du système une fois qu'un seuil énergétique est atteint. Selon P. Chomaz et F. Gulminelli, la multifragmentation est comparable à la transition liquide-gaz que subissent, par exemple, des gouttelettes d'eau déposées sur une plaque chauffante. Tandis que dans la phase d'évaporation, le milieu nucléaire est comparable à un liquide, il se rapproche d'un gaz dans la phase de vaporisation. Toutefois, à la température critique, un «liquide nucléaire» a une capacité calorifique négative ; il se refroidit brièvement pendant la multifragmentation.

Comment s'explique cette particularité ? Pour produire et lancer les fragments

qui constituent le milieu vaporisé, le système consomme de l'énergie. Quand le nombre de particules qui le constituent est grand, le refroidissement associé à cette dépense énergétique n'a guère d'influence sur le comportement du système global. En revanche, un système constitué d'un petit nombre de particules (c'est le cas d'un milieu nucléaire) devient sensible au coût énergétique de la vaporisation.

Jusqu'à présent, on n'avait encore jamais décrit de système qui se refroidit pendant une transition de phase! Toutefois, les lois de la thermodynamique ont été élaborées pour les systèmes macroscopiques. P. Chomaz et F. Gulminelli pensent que les propriétés thermodynamiques des transitions de phase de systèmes à grand nombre de particules ne subsistent pas lorsqu'on étudie les changements d'états de système à petit nombre de particules. Selon eux, les transitions de phase à l'échelle élémentaire seraient toujours accompagnées d'un bref refroidissement du milieu à la température critique. Si tel est le cas, le phénomène devrait se retrouver pour tout corps subissant une transition de phase à cette échelle, notamment pour les microgouttelettes d'eau sur une plaque chauffante. Hellmut Haberland et son équipe de l'Université de Fribourg l'ont également observé lors de la fusion de minuscules morceaux de sodium qui ne comportent que 147 atomes.



Lorsque des atomes de xénon frappent une cible d'étain, il se produit soit une évaporation, où les deux noyaux sont peu modifiés et laissent échapper des protons, notamment ; soit une multifragmentation, où diverses particules et des fragments lourds sont émis ; soit une vaporisation libérant un gaz de particules.

Vous cherchez des services personnalisés d'information scientifique ?

//connectsciences.inist.fr

Le portail CNRS d'information scientifique et technique

Un service de l'Institut de l'Information Scientifique et Technique du CNRS

www.inist.fr