

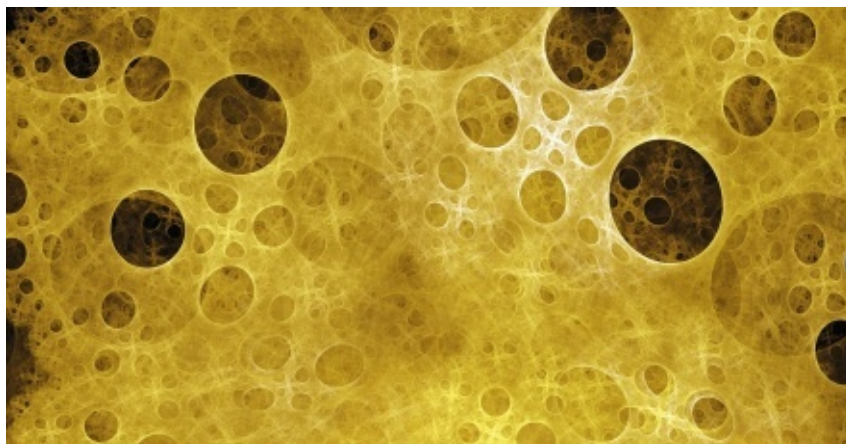
qui est simplement un gros morceau de roche ou de glace.

La mécanique quantique a transformé le débat discret-continu (le terme *quantum* a été introduit pour désigner une quantité minimale bien définie, d'énergie en l'occurrence). Si la définition d'une planète peut être arbitraire, ce n'est pas le cas de la définition d'un atome ou d'une particule élémentaire. Les entiers qui numérotent les éléments chimiques sur le tableau de Mendeleïev (et qui, nous le savons aujourd'hui, correspondent aux nombres de protons des atomes en question) sont objectifs. Quels que soient les développements que la physique nous réserve, je suis prêt à miser gros sur le fait que nous n'observerons jamais d'élément à $\sqrt{500}$ protons, situé entre le titane et le vanadium. Les entiers en physique atomique ont vocation à rester.

Des entiers nés d'une équation continue

Un autre exemple est fourni par la spectroscopie, l'étude de la lumière émise ou absorbée par la matière. Un atome d'un type donné ne peut émettre que de la lumière de longueurs d'onde (ou couleurs) particulières, ce qui constitue une empreinte caractéristique de chaque élément. Contrairement aux empreintes digitales humaines, les spectres atomiques obéissent à des règles mathématiques précises, et ces règles mettent en jeu des entiers. Les premières tentatives pour comprendre la théorie quantique, notamment par le physicien danois Niels Bohr, plaçaient l'aspect discret au cœur de l'édifice.

Mais l'interprétation de Bohr n'a pas eu le dernier mot. En 1925, l'Autrichien Erwin Schrödinger a développé une approche alternative de la théorie quantique, fondée sur la notion d'ondes. L'équation qu'il a formulée pour décrire l'évolution de ces ondes au cours du temps ne contient que des grandeurs continues, et pas d'entiers. Mais quand on résout l'équation de Schrödinger pour un système donné, on assiste à un tour de magie mathématique. Prenons l'atome d'hydrogène : les électrons sont en orbite autour du noyau à des niveaux d'énergie bien particuliers. Cela se traduit par un spectre spécifique de l'atome. L'atome est analogue à un tuyau d'orgue, qui produit une série discrète de notes alors que le mouvement de l'air est continu. Au moins en ce qui concerne l'atome, la leçon est claire : Dieu n'a pas fait les nombres entiers ; il a



2. LE NOMBRE DE DIMENSIONS n'est pas forcément un entier. Ainsi, cette éponge fractale peut être caractérisée par une dimension comprise entre deux et trois.

fait les nombres réels, et le reste est le fait de l'équation de Schrödinger.

En d'autres termes, les entiers ne sont pas des hypothèses de la théorie, comme le pensait Bohr, mais des conséquences. Les entiers sont un exemple de ce que les physiciens appellent une quantité émergente. Dans cette perspective, le terme de mécanique « quantique » est impropre : la théorie ne contient pas de quanta (c'est-à-dire des quantités discrètes) dans sa formulation. Dans des systèmes tels que l'atome d'hydrogène, les processus décrits par la théorie engendrent du discret à partir de la continuité sous-jacente.

Peut-être plus surprenant encore, l'existence d'atomes, ou de toute particule élémentaire, n'est pas une hypothèse de nos théories. Les physiciens enseignent au quotidien que les briques de la nature sont des particules discrètes telles que l'électron ou le quark. C'est faux. Les éléments fondamentaux de nos théories ne sont pas des particules, mais des champs : des objets continus, semblables à des fluides, qui occupent tout l'espace. Les champs électriques et magnétiques en sont des exemples familiers, mais il existe aussi un champ électronique pour l'électron, un champ pour chaque type de quark, un champ de Higgs, et ainsi de suite. Les objets que nous qualifions de particules élémentaires ne sont pas fondamentaux, ce sont en fait des modes d'oscillation de champs continus.

Un sceptique pourrait rétorquer que des entiers sont bien inscrits dans les lois de la physique. Par exemple, ces lois décrivent trois types de neutrinos, six types de quarks (avec pour chacun trois variétés ou « couleurs »), et ainsi de suite. Des entiers, partout des entiers. Vraiment ? Tous ces exemples

dénombrant en fait les espèces de particules du modèle standard de la physique des particules, des quantités pour lesquelles il est difficile d'obtenir une précision mathématique quand les particules interagissent. En effet, ces dernières se transforment : un neutron peut se scinder en un proton, un électron et un neutrino. Devrions-nous alors considérer que nous avons affaire à une, trois ou quatre particules ? L'affirmation de l'existence de trois sortes de neutrinos, six sortes de quarks, etc., est un artifice dû à la non-prise en compte des interactions des particules.

Un nombre incertain de dimensions ?

Un autre exemple d'entier intervenant dans les lois de la physique est le nombre de dimensions de l'espace. On en observe trois. Mais en sommes-nous certains ? Le mathématicien franco-américain Benoît Mandelbrot a fait remarquer que le nombre de dimensions n'est pas nécessairement un entier. La côte de la Grande-Bretagne, par exemple, a une dimension (dite fractale) d'environ 1,3. De plus, dans de nombreuses propositions de théories unifiées, telles que la théorie des cordes, il y a ambiguïté sur le nombre de dimensions de l'espace : des dimensions spatiales peuvent émerger ou se dissoudre.

Je me hasarde à dire qu'il pourrait n'y avoir qu'un seul entier véritable dans toute la physique. Les lois de la physique ne prennent en compte qu'une seule dimension pour le temps. S'il n'y avait pas précisément une dimension temporelle, il semble que la physique serait incohérente.

Même si nos théories actuelles supposent que la réalité est continue, beaucoup