

ce qui advient ensuite aux deux morceaux, et la seconde surprise est là.

Les physiciens ont longtemps pensé que les extrémités libres de ces morceaux oscillaient, comme la règle que l'on fait vibrer en maintenant l'une de ses extrémités sur la table. Or ce mouvement est assez lent (période de l'ordre de 0,2 seconde) et ne correspond pas du tout aux observations faites avec des caméras ultrarapides par Basile Audoly et Sébastien Neukirch, de l'université Pierre-et-Marie-Curie.

Des ondes de flexion

Juste après la rupture, l'extrémité libre ne subit plus aucune contrainte, alors même qu'elle est fléchie. Les deux physiciens ont établi qu'elle se redresse, mais beaucoup plus rapidement dans l'épaisseur du spa-

ghetti que dans sa longueur. Il s'ensuit l'émission d'une série d'ondes de flexion très particulières. Leur vitesse de propagation le long de la tige diminue avec le temps tandis que, au début, leur amplitude croît. On assiste ainsi à une augmentation de la courbure du spaghetti, et donc de ses contraintes internes, à mesure que ces ondes se propagent.

Comme ces contraintes étaient déjà proches de la contrainte de rupture, une seconde cassure se produit sur chacun des deux morceaux très peu de temps après la première (moins de dix millièmes de seconde). Des ruptures supplémentaires peuvent suivre, compte tenu des réflexions des ondes de flexion sur l'extrémité fixée. Pour éviter une telle explosion de fragments, il faudrait donner de l'épaisseur à nos spaghettis. Mais ce ne seraient alors plus des spaghettis ! ■

■ BIBLIOGRAPHIE

B. Audoly et S. Neukirch, **Fragmentation of rods by cascading cracks: Why spaghetti do not break in half**, *Physical Review Letters*, vol. 95, article 095505, 2005.

G. Varieschi et K. Kamiya, **Toy models for the falling chimney**, *American Journal of Physics*, vol. 71, pp. 1025-1031, 2003.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr




les conférences



Semaine du cerveau

Entrée libre dans la limite des places disponibles

À la Cité des sciences et de l'industrie

cycle Santé en questions

Jeudi 16 mars à 19h

Les pouvoirs de l'esprit ?

La méditation ou l'hypnose aident à combattre le stress, les douleurs chroniques et les addictions.

- Organisé avec l'Inserm
- En duplex avec la Bibliothèque de la Part-Dieu à Lyon.

Au Palais de la découverte

Table ronde

Samedi 18 mars à 15h

Regards croisés sur l'esprit et la pensée

Avec François Ansermet, pédopsychiatre,
Jean-Gaël Barbara, historien des neurosciences,
Elena Pasquinelli, philosophe.

programme complet sur
cite-sciences.fr et palais-decouverte.fr

En partenariat avec



Avec le soutien de

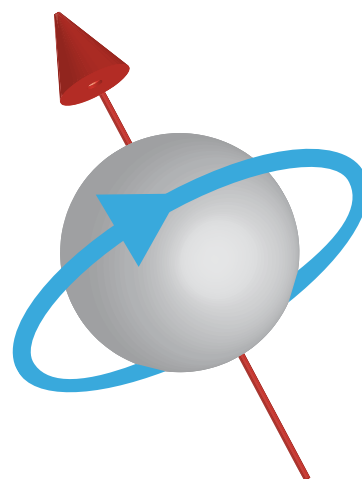


QUESTION AUX EXPERTS

Qu'est donc le spin ?

Le spin est une caractéristique quantique des particules intimement liée à leurs propriétés de rotation. Il joue un rôle essentiel dans les propriétés de la matière.

Jean-Marc LÉVY-LEBLOND



La mécanique classique nous a appris à distinguer dans le mouvement d'un corps deux composantes : d'une part, un mouvement extrinsèque, son déplacement ; d'autre part, un mouvement intrinsèque, sa rotation sur lui-même. Ainsi, pour la Terre, on peut aisément séparer sa révolution annuelle autour du Soleil de sa rotation quotidienne sur elle-même. À chacun de ces mouvements du corps considéré est associée une grandeur cinématique spécifique : pour son déplacement, la quantité de mouvement, et pour sa rotation, le moment cinétique (ou angulaire) propre. Il s'agit d'une grandeur vectorielle dont la direction est celle de l'axe de rotation et dont la valeur est proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation.

La théorie quantique amende les notions newtoniennes de position et de vitesse, donc l'idée même de mouvement. Elle conserve cependant leur pertinence aux grandeurs physiques fondamentales – tout en complexifiant leur formalisation mathématique. Ainsi, un objet quantique, ou « quanton », est doté d'un moment cinétique propre, qui traduit ses propriétés rotationnelles, même s'il s'agit d'une notion plus abstraite et moins imagée qu'un mouvement de rotation classique.

Mise en évidence au cours des années 1920 pour l'électron, cette grandeur a reçu en anglais la dénomination de spin, exprimant le tournoiement et provenant de la désignation anglaise de la quenouille d'une fileuse au rouet. Ce mot provient en fait du

latin *spina*, « épine », en raison de la forme de la quenouille. Il est dommage qu'aucun équivalent français n'ait été proposé. Les possibilités ne manquaient pourtant pas : le tournis, la volte ou la pirouette de l'électron... Voilà qui aurait eu du charme !

La nature quantique du spin se manifeste par la discontinuité de ses valeurs numériques possibles : elles sont « quantifiées ». Concrètement, les valeurs du spin ne peuvent être que des multiples entiers ou demi-entiers de $\hbar$, la constante réduite de Planck, égale à $h/(2\pi)$ où h est la constante de Planck. La valeur du spin de l'électron est ainsi $\hbar/2$; on dit en général que son spin vaut $1/2$, en sous-entendant l'unité $\hbar$. Les protons et les neutrons ont aussi un spin $1/2$, le photon un spin 1 , les mésons π un spin 0 , etc.

Les orientations du spin aussi sont quantifiées : il ne peut en exister que $2s + 1$ pour un spin s ; ainsi, le spin de l'électron ne peut prendre que $2 \times 1/2 + 1 = 2$ orientations.

Fermions et bosons

La caractéristique la plus importante du spin est son lien avec le comportement des ensembles de quantons de même nature. Ceux de spin demi-entier ne peuvent jamais coexister dans des états physiques individuels identiques ; on les nomme fermions. De mêmes quantons de spin entier, eux, peuvent s'accumuler dans des états identiques ; on les nomme bosons. Ces propriétés des systèmes de quantons régissent leurs

comportements collectifs et expliquent par exemple aussi bien la structure des cortèges électroniques des atomes (reflétée dans le tableau de Mendeleïev) que l'impénétrabilité de la matière solide, la conductivité électrique des métaux, la lumière laser, etc. On peut démontrer cette relation entre spin et comportement collectif à partir des principes fondamentaux de la théorie quantique et de la théorie de la relativité. Toutefois, la preuve est si complexe que les raisons profondes de cette connexion restent peu intuitives.

Comme en mécanique newtonienne, l'existence d'un moment cinétique intrinsèque permet aux particules ayant des interactions électromagnétiques de porter un moment magnétique, ce qui les rend similaires à de petits aimants. Cette propriété est à l'origine d'importantes techniques modernes, notamment la résonance magnétique nucléaire, ou RMN. Dans un champ magnétique, les niveaux d'énergie des noyaux atomiques dépendent de l'orientation de leur spin. En détectant l'absorption d'un rayonnement électromagnétique induisant une transition entre ces niveaux, à une fréquence qui dépend spécifiquement des noyaux concernés, on peut observer de façon très fine la répartition des atomes. C'est là le principe de l'imagerie par résonance magnétique (IRM), une technique d'imagerie médicale très utilisée, notamment parce qu'elle est non invasive et non irradiante. ■

Jean-Marc LÉVY-LEBLOND est professeur émérite de physique à l'université de Nice.

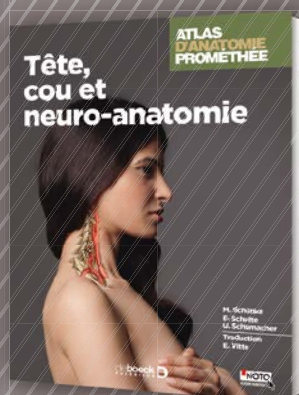
Tout le corps humain en 3 volumes

**ATLAS
D'ANATOMIE
PROMÉTHÉE**

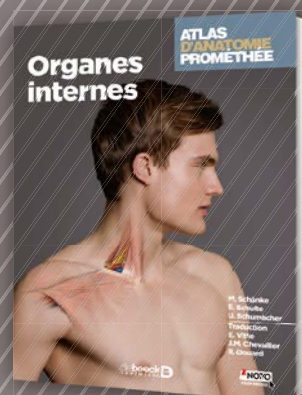
9782804185527 - 640 PAGES - 89 €



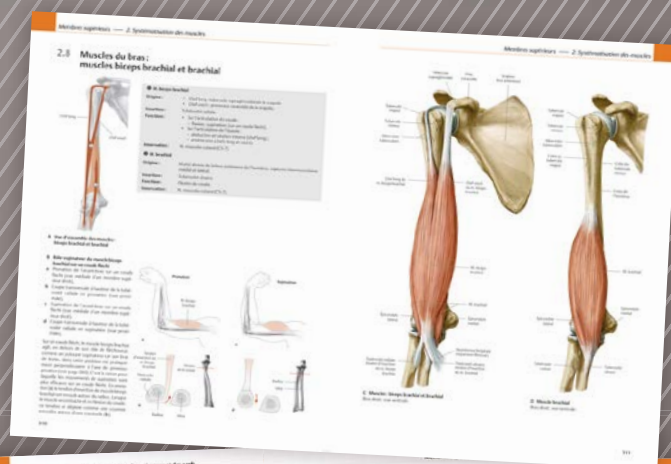
DÉCOUVREZ ÉGALEMENT :



9782804186159 - 560 PAGES - 89 €



9782804182984 - 520 PAGES - 89 €



- Plus de **170 tableaux** par titre
- Près de **1800 illustrations** dans chaque tome
- Des **centaines d'exemples cliniques illustrés**
- Chaque sujet est exposé sur une **double page**, pour une **approche complète et rapide**, en un seul coup d'œil
- Des **images par ordinateur** hautes en couleur, d'une précision exceptionnelle, hyperréalistes

SCIENCE & GASTRONOMIE

Jeux de gels

Le choix de la température de fusion des gels culinaires conditionne les consistances des mets et la libération de molécules odorantes.

Hervé THIS

La bouche, comme les autres systèmes sensoriels, cherche des contrastes : de consistance, de couleur, de saveur, de piquant ou de frais. Rien n'a moins d'intérêt culinaire qu'une préparation où chaque bouchée ressemble à la suivante. Au contraire, chaque modalité de la sensation du goût augmente l'intérêt d'un plat, ce qu'ont bien compris les pâtisseries avec leurs gâteaux multicouches.

Contraste de consistance ? Les aliments étant principalement des « gels », c'est leur structure que nous envisagerons en premier. Ceux dont la gélatine est le composé gélifiant ont des vertus gourmandes, car ils fondent dans la bouche, ce qui est un contraste dynamique. Toutefois, on peut également envisager que le gel soit un « dynagel », c'est-à-dire un gel qui se forme en même temps qu'il se déforme [H. This, « Statgels et dynagels », *N3AF*, vol. 1, pp. 1-12, 2017] et la compréhension de sa structure donne des idées supplémentaires de cuisine.

Qu'elle provienne du poisson ou de la viande, la gélatine est faite de tissu collagénique partiellement dégradé par son extraction. Dans les tissus animaux, le tissu collagénique entoure les cellules, notamment les cellules musculaires, et il sert à réunir ces cellules en faisceaux, en faisceaux de faisceaux, et ainsi de suite jusqu'à la formation des muscles. Lors de l'extraction de la gélatine, chez soi par cuisson de viande dans de l'eau, le tissu se désorganise : les molécules de collagène, formées de trois brins protéiques associés en hélice, se débloquent et une hydrolyse partielle de chaque brin a lieu.

Dans l'eau, quand la température est supérieure à celle de l'organisme animal, les molécules de gélatine forment donc une solution homogène, l'agitation thermique empêchant les associations entre brins. Mais aux températures inférieures, les solutions gélifient, les brins de gélatine ayant tendance à se réassocier par des liaisons faibles de Van der Waals et des liaisons hydrogène (entre atomes d'hydrogène et d'oxygène appartenant à des molécules voisines).

Gélatine solide et liquide

Plus précisément, les extrémités des brins de gélatine se joignent et donnent ainsi naissance à un réseau tridimensionnel de gélatine, au sein duquel l'eau est piégée. Pour chaque brin, une extrémité est libre ou liée, la proportion de chacune de ces configurations étant inversement proportionnelle à l'exponentielle de son énergie de formation. Ce caractère exponentiel fait que, selon la température, les brins sont soit quasiment tous liés, soit quasiment tous libres : la transition est brusque.

Aux températures de transition, on peut avoir des états du gel où la proportion de brins liés est suffisante pour stabiliser un réseau de gélatine tridimensionnel, tandis que certains brins sont détachés, en solution. Des composés sapides ou odorants, en solution dans la phase aqueuse, interagissent alors avec les brins libres, ces composés modifiant leur diffusion en augmentant la viscosité de la phase aqueuse. Quel cuisinier utilisera ces « dynagels », en cuisine ?



© Jean-Michel Thiriet

Par ailleurs, en bouche, certains gels de gélatine peuvent fondre : selon les tissus collagéniques à partir desquels on a produit la gélatine (poisson, porc, bœuf, etc.), on obtient des gélifiants dont la température de gélification (et de fusion) avoisine la température de la bouche. Autrement dit, le choix de l'origine de la gélatine est essentiel. Sans compter que les cuisiniers peuvent renforcer les gels de gélatine à l'aide d'enzymes, telle la transglutaminase, qui engendrent la formation de liaisons chimiques covalentes, bien plus résistantes.

Finalement, il n'y a aucune raison de penser que les gelées de gélatine soient dépourvues d'intérêt gustatif : avec une double dynamique, interne et de fusion, les cuisiniers ont des outils pour produire des bavarois, aspics, crèmes prises, aux goûts sur mesure (ce sont les composés solubilisés dans la phase aqueuse des gels). Qui plus est, on peut organiser des structures des gels produits, mais c'est là un autre chapitre de l'histoire extraordinaire des gels en cuisine. ■



Hervé THIS, physicochimiste, est directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParisTech-Inra et directeur scientifique de la fondation Science & culture alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez la rubrique
Science & gastronomie sur
www.pourlascience.fr