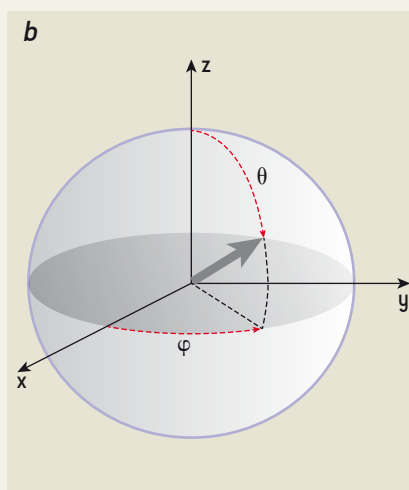


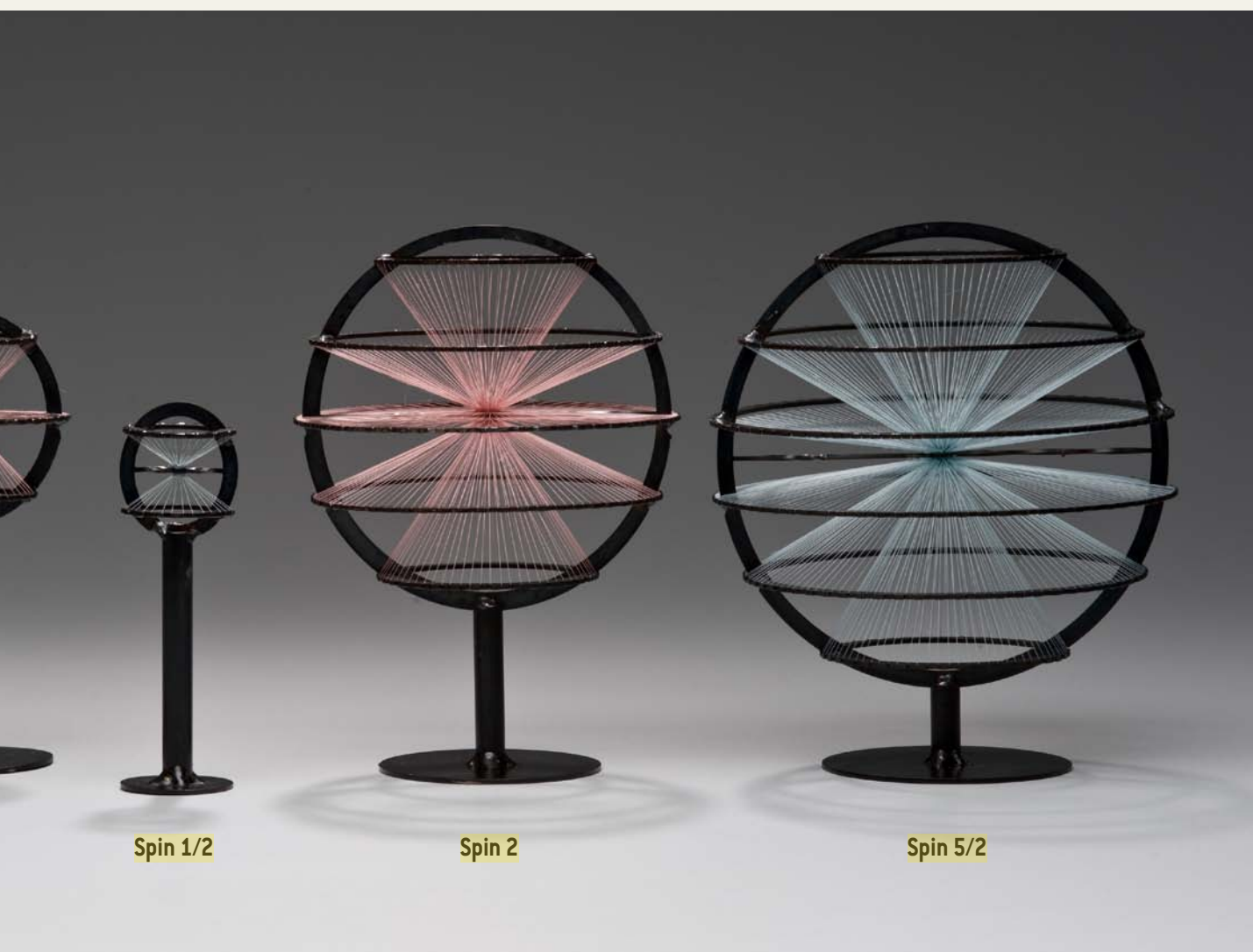
boson est un entier (0, 1, 2,...). Par exemple, le boson de Higgs a un spin égal à zéro.

Comment représenter un spin ? En projection sur un axe donné, un spin J ne peut prendre que les $2J + 1$ valeurs $-J, -J + 1, \dots, J - 1, J$. Cela correspond à certaines orientations, que l'on peut figurer sur une sphère dite de Bloch (voir la figure b, où les angles θ et φ définissent l'orientation). S'en inspirant, J. Voss-Andreae a tissé un fil de soie bleu ou rose sur une structure à cercles. Les cônes ainsi formés illustrent les états possibles d'un spin donné. Les objets roses (les bosons) ont un disque plan, qui correspond à une projection de spin égale à zéro, alors que les objets bleus (les fermions) en sont dépourvus.



Qu'en est-il de l'attribution des sexes ? Deux fermions identiques ne peuvent coexister dans le même état quantique, car ils sont soumis au principe d'exclusion de Pauli. Ces particules, « rivales pour une même place », seraient donc masculines. La distinction entre deux sexes serait-elle d'origine quantique ? ■

Les paradoxes de la matière,
Dossier Pour la Science, n° 79, avril-juin 2013.
J. Voss-Andreae, *Quantum sculpture : art inspired by the deeper nature of reality*, *Leonardo*, vol. 44(1), pp. 14-20, 2011.
P. Ball, *Quantum objects on show*, *Nature*, vol. 426, p. 416, 2009.
M. Arndt et al., *Wave-particle duality of C₆₀ molecules*, *Nature*, vol. 401, pp. 680-682, 1999.
www.JulianVossAndreae.com



Dan Kivika

IDÉES DE PHYSIQUE

Des bateaux qui décollent

Pour faire gagner de la vitesse à un bateau, il suffit de faire sortir sa coque hors de l'eau : c'est le rôle des hydrofoils.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Quel est le point commun des voiliers titulaires de records de vitesse comme l'*Hydroptère* [95 kilomètres par heure] ou le *Vestas Sailrocket 2* [109 kilomètres par heure] ? À pleine vitesse, l'essentiel de leur coque est hors de l'eau !

Les concepteurs de bateaux rapides se sont en effet rendu compte que si la coque est, au repos, indispensable pour flotter (grâce à la poussée d'Archimède), elle devient une gêne à grande vitesse à cause de sa traînée hydrodynamique. S'inspirant alors des techniques aéronautiques, ils ont conçu des bateaux qui se soulèvent hors de l'eau en gagnant de la vitesse, sustentés par des sortes d'ailes immergées : les hydrofoils.

L'étrave d'un navire qui avance déplace de l'eau et crée des vagues. En s'éloignant, ces dernières emportent avec elles de l'énergie fournie par le navire et, finalement, la dissipent dans le vaste océan. Elles constituent la première source de freinage.

L'origine de la vague principale créée par le bateau est visible le long de la coque : à l'avant du navire, l'eau, chassée par l'étrave, s'élève plus haut que la surface libre (voir la figure 1a). Cette surélévation se prolonge ensuite en ondulations successives le long de la coque du bateau.

Avancer dans l'eau plutôt que sur l'eau

Plus le bateau avance vite, plus cette vague grossit en amplitude (sa hauteur) et en longueur d'onde (la distance entre deux crêtes consécutives). On s'aperçoit que cette vague devient un obstacle presque infranchissable lorsque sa longueur d'onde est comparable à la taille du bateau : ce dernier atteint alors sa vitesse limite.

Comment voguer plus vite ? En réduisant le freinage par les vagues. C'est possible avec une coque très effilée, qui fend l'eau, comme celle des bateaux conçus pour les courses d'aviron. Cette coque est instable

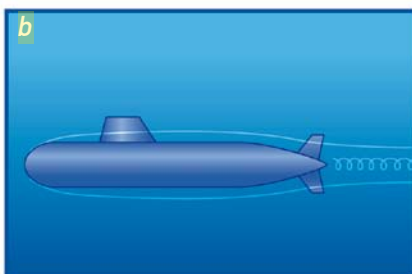
latéralement, mais en reliant deux coques de ce type, on réalise un catamaran, structure stable bien adaptée à la voile. Malgré cela, le volume immergé de l'étrave reste important, car il faut bien compenser par la poussée d'Archimède le poids toujours considérable du voilier et de son équipage.

On peut aussi tenter d'éviter la création d'une vague. Pour cela, il faut aller sous l'eau. Un sous-marin en plongée, par exemple, ne crée pas de vagues : la résistance au mouvement provient des turbulences qu'il produit et des frottements visqueux le long de sa surface (voir la figure 1b).

Comme cette résistance n'a pas le caractère infranchissable du « mur de la vague », on a tout intérêt à placer sous l'eau, et non à sa surface, les structures nécessaires à la sustentation du navire. Et plutôt que d'immerger de gros flotteurs qui engendrent la poussée d'Archimède adéquate, utilisons la force de portance s'exerçant sur des sortes d'ailerons immergées et convenablement orientées. Autrement dit, au lieu d'un dirigeable, choisissons l'avion ! C'est l'idée des hydrofoils, inventés et testés par l'ingénieur italien Enrico Forlanini en 1906 sur le lac Majeur (68 kilomètres par heure tout de même).

Des foils immergés en T...

On ajoute ainsi sous le bateau des appendices verticaux qui se terminent par les foils, éléments plats ayant la forme et le profil d'une aile d'avion. À l'arrêt, rien ne distingue un tel bateau d'un autre : il flotte grâce à sa coque. En revanche, dès qu'il gagne de la



1. L'AVANCÉE D'UN BATEAU SUR L'EAU CRÉE DES VAGUES, notamment une à l'avant qu'il doit continuellement « graver » (a). Ces vagues emportent de l'énergie et freinent le bateau. Pour un sous-marin en plongée (b), il n'y a pas de vagues ; ce sont les turbulences créées à l'arrière et les frottements visqueux entre le liquide et la surface du vaisseau qui freinent ce dernier.

Dessins de Bruno Vacaro