

d'étages d'accélération à plasma pour obtenir une collision avec la précision désirée est un défi énorme. Le rayon typique du sillage est inférieur à 1 millimètre, et les scientifiques doivent injecter le paquet d'électrons suiveurs avec une précision submicronique. Ils doivent aussi synchroniser l'impulsion excitatrice et le faisceau suiveur avec moins de 1 centième de billionième de seconde de décalage. Toute erreur d'alignement conduirait à une baisse de la qualité du faisceau et une perte en énergie et en charge causée par l'oscillation des électrons autour de l'axe du sillage de plasma. Cette perte se traduit par une émission de rayons X durs, connue sous le nom d'«émission bêta-tron», et place une limite finie à la quantité d'énergie que l'on peut obtenir grâce à un accélérateur à plasma.

BEAUCOUP DE PERTES D'ÉNERGIE EN PRÉVISION

D'autres difficultés techniques freinent la concrétisation. Par exemple, le premier atout d'un collisionneur de particules est sa luminosité – une mesure de la quantité de particules passant à travers un espace donné en un temps donné. La luminosité multipliée par la section efficace – ou par la probabilité que deux particules se percutent – indique combien de collisions d'une nature particulière par seconde vous pourrez probablement observer à un niveau d'énergie donné. La luminosité voulue pour un collisionneur linéaire électron-positron à 1 TeV est de $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Atteindre nécessiterait que les faisceaux qui se percutent aient une puissance moyenne de 20 mégawatts chacun – 10^{10} particules par paquet à un taux de répétition de 10 kilohertz et une taille de faisceau au point de collision de 1 dixième de milliardième de mètre. Pour illustrer le défi que cela représente, concentrons-nous sur le besoin de puissance moyen. Même si vous pouviez transférer de l'énergie du faisceau excitateur au faisceau accéléré avec 50% d'efficacité, 20 mégawatts de puissance seraient perdus dans les deux fines colonnes de plasma. Idéalement, nous pourrions en récupérer une partie, mais c'est loin d'être simple.

Les scientifiques ont accompli d'importants progrès sur les technologies nécessaires à la partie électrons d'un collisionneur linéaire à plasma, mais l'accélération des positrons n'en est, elle, qu'à ses balbutiements. Une décennie de recherches fondamentales et concertées sera nécessaire pour amener les positrons au même point que celui que nous avons atteints

avec les électrons. Une option alternative consisterait à faire collisionner des électrons avec des électrons ou même avec des protons, dans une machine où l'un des deux accélérateurs d'électrons, voire les deux, serait fondé sur un accélérateur à plasma. Un autre concept exploré au Cern est la modulation d'un paquet de protons de plusieurs centimètres de longueur en l'envoyant à travers une colonne de plasma et en utilisant le champ de sillage qui l'accompagne pour accélérer un paquet d'électrons.

L'avenir des accélérateurs à plasma est incertain, mais passionnant. Il semble possible que, d'ici à une décennie, nous puissions construire des accélérateurs à plasma de 10 GeV tenant sur une grande table pour diverses applications commerciales et scientifiques en utilisant les lasers ou les accélérateurs d'électrons existants. Mais nous serions encore loin de mettre au point un collisionneur linéaire à plasma permettant des découvertes d'une nouvelle physique. Pourtant, même avec la perspective du ILC et du FCC, nous pensons utile de persister dans le perfectionnement d'une technologie exotique qui conduirait à des économies en taille et en dépenses. À ce titre, la technologie du plasma offre aux chercheurs une occasion formidable de prendre des risques, d'être créatifs, de résoudre des problèmes fascinants et un jour, qui sait, de découvrir de nouveaux éléments fondamentaux de la nature!

— L'auteur —

> **Chandrashekhar Joshi**
est professeur de génie électrique à l'université de Californie, à Los Angeles (UCLA), où il dirige le groupe Laser-Plasma.

— À lire —

> **W. Wang et al.**, Free-electron lasing at 27 nanometres based on a laser wakefield accelerator, *Nature*, vol. 595, pp. 516-520, 2021.

> **A. Cho**, This is the first mini-particle accelerator to power a laser, *Science*, 2021. <https://bit.ly/3dzocp5>

> Site du consortium Eupraxia : www.eupraxia-project.eu

> **R. Bingham et al.**, Introduction to plasma accelerators: The basics, *Proceedings of the CAS-CERN Accelerator School: Plasma Wake Acceleration, Cern*, 2016.

1 AN

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris CEDEX 14 - Sarl au capital de 32 000€ - RCS Paris B 311 797 393 - Siret : 311 797 393 000 23 - APE 58.14 Z