

Cette réaction chimique ne dégage que les deux tiers de l'énergie libérée par la réaction normale de décharge, qui ne peut plus se produire : l'aluminium et le chlorure de sodium formés recouvrent l'électrode négative d'une couche isolante.

Le boîtier métallique et les joints résistent à des températures atteignant 800 °C, et les températures d'ébullition élevées des matériaux contenus dans la cellule évitent une trop grande augmentation de la pression interne : il n'y a pas de dégagement gazeux. De même, dans le cas extrême où toute l'énergie serait dissipée sous forme de chaleur lors d'un court-circuit, la température interne resterait inférieure à 1 000 °C, et les parois externes atteindraient à peine 100 °C.

Au cours d'un essai, nous avons laissé tomber verticalement, sur une glissière fixe de sécurité, une batterie entièrement chargée et à la température interne de 300 °C. Le choc s'est produit à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure : toutes les cellules ont été détruites, et presque toute l'énergie contenue dans la batterie s'est transformée en chaleur. Toutefois, il ne s'en est échappé qu'un peu de fumée blanche : de l'hydroxyde d'aluminium, inoffensif, et des traces d'acide chlorhydrique.

Naturellement, la batterie *Zebra* est en concurrence avec d'autres accumulateurs et, notamment, avec les batteries qui sont composées de nickel et d'hydrures métalliques. Leur densité d'énergie est inférieure de 30 à 40 pour cent, mais leur puissance massique est supérieure. Elles conviendraient particulièrement aux véhicules hybrides qui rechargent eux-mêmes leurs batteries pendant qu'ils roulent avec un moteur thermique.

Dans moins de dix ans, les batteries à base de lithium et d'hydrures métalliques, dont les caractéristiques électriques sont comparables à celles des batteries *Zebra*, seront utilisables dans les véhicules. La concurrence conduira les ingénieurs à améliorer leurs systèmes et à en mettre au point de nouveaux, et permettra ainsi le développement des voitures électriques.

Cord-Henrich DUSTMANN est directeur commercial de la Société *AEG Anglo Batteries*, à Ulm.

Voir sans regarder

PAUL KWIAT • HARALD WEINFURTER • ANTON ZEILINGER

L'optique quantique détecte des objets sans interagir avec eux, même par de la lumière.

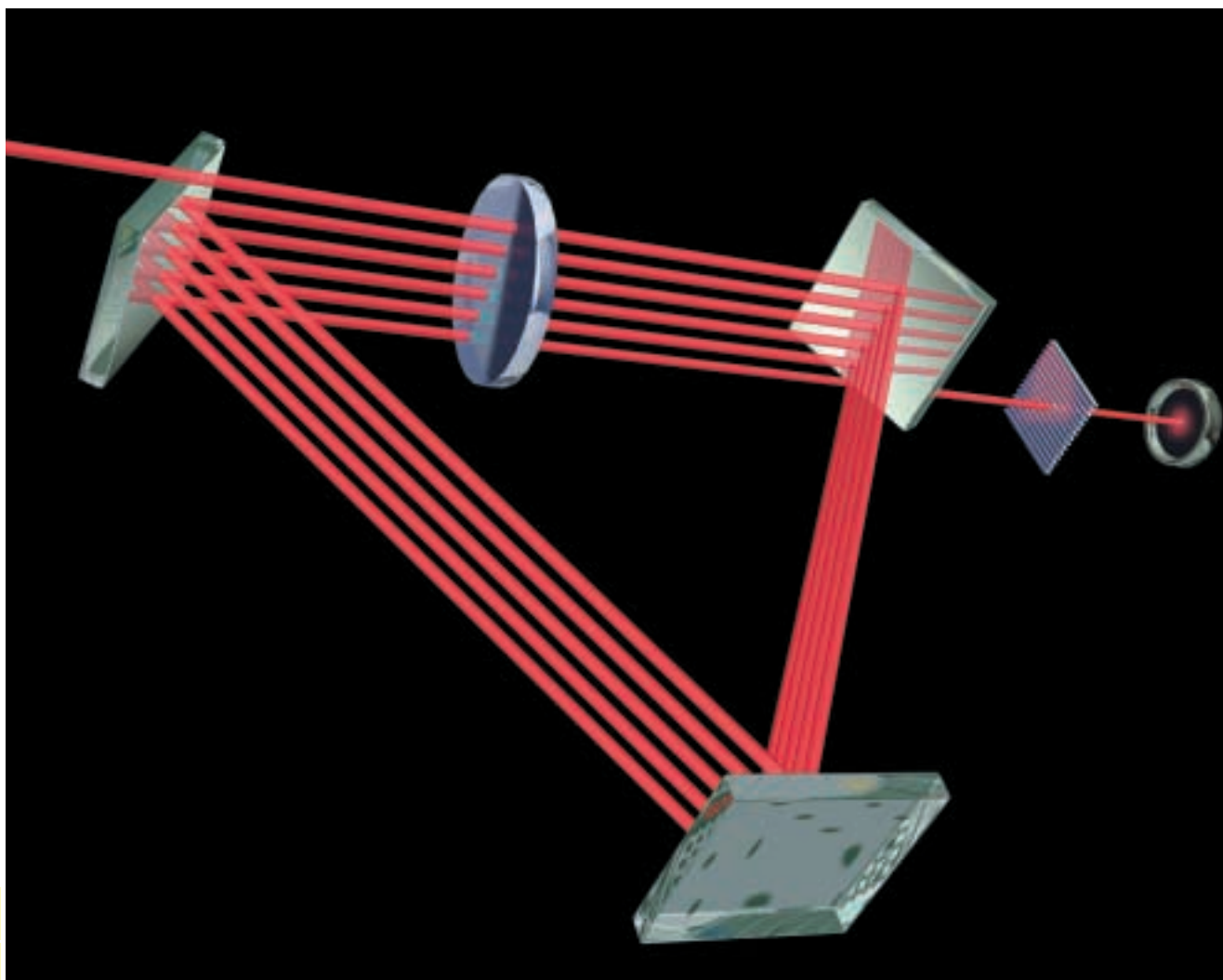
Les mythes grecs rapportent comment Persée affronta Méduse, créature aux cheveux de serpents qu'aucun mortel ne pouvait contempler en face sans être instantanément pétrifié. Certaines versions du mythe racontent que Persée échappa à la pétrification grâce à un bouclier que lui avait donné Hermès : il prit soin

de ne regarder la Gorgone qu'indirectement, avant de lui couper la tête.

En 1962, Dennis Gabor, l'inventeur de l'holographie, affirma que Persée n'aurait pas échappé à Méduse si les lois de la physique avaient été respectées : aucun objet, énonça-t-il, ne pouvait être observé avec moins d'un photon, ou grain de lumière.

Toutefois, ces dernières années, les spécialistes de l'optique quantique ont appris que cette affirmation n'était ni évidente ni, même, exacte : ils savent maintenant déterminer la présence d'un objet même quand aucun photon ne l'a percuté.

Une telle mesure sans interaction est paradoxale : sans interaction, com-



Michael Goodman

1. L'EFFET ZÉNON QUANTIQUE, version du paradoxe de l'impossibilité du mouvement forgé par le philosophe grec Zénon, est utilisé dans des dispositifs qui font des mesures sans interagir avec les

systèmes sur lesquels porte la mesure. Pour observer cet effet, on utilise un faisceau laser qui suit un trajet en escalier menant à un détecteur de photons.

ment obtenir une mesure? Cette question est légitime en mécanique classique, quand on décrit le mouvement des ballons de football, des planètes ou, plus généralement, des objets assez gros ; mais il en va autrement en mécanique quantique : au royaume des électrons, des photons et des autres particules subatomiques, des mesures sans interaction sont possibles quand on utilise des effets inédits et des systèmes expérimentaux bien conçus. Armé de physique quantique, Persée aurait pu trouver un moyen de «voir» Méduse sans aucune lumière provenant de la Gorgone ; il aurait pu voir sans regarder.

Des détecteurs quantiques qui mesureraient ainsi sans interaction auraient de nombreuses utilisations dans la vie quotidienne, mais ce sont surtout les conséquences philosophiques de leur fonctionnement qui sont intéressantes. Elles s'évaluent mieux grâce à des expériences de pensée, c'est-à-dire des analyses qui envisagent les résultats d'expériences qu'on ne cherche pas à réaliser en pratique.

Imaginons une variation du jeu de bonneteau, avec deux coquilles de noix et un cailloux caché sous l'une d'elles. Le caillou est spécial : il est réduit en poussière par la lumière. Le jeu consiste à chercher l'emplacement du caillou sans soulever les coquilles, et en lui évitant toute perturbation ; si le caillou est réduit en poussière, le joueur perd la partie.

Il semble impossible de gagner à tout coup, mais on gagne un coup sur deux si l'on soulève la coquille supposée ne pas contenir le caillou : si rien n'apparaît, alors le caillou se trouve sous l'autre coquille ; si un peu de poussière est présente, c'est que le caillou s'y trouvait.

Poursuivons notre modification du jeu en le simplifiant, de sorte qu'un joueur limité aux lois de la physique classique ne puisse plus gagner : nous ne conservons qu'une seule coquille, et une chance sur deux que le caillou soit dessous. Le but du jeu est de dire si le caillou est présent, toujours sans l'exposer à la lumière.

Supposons qu'il y a un caillou sous la coquille. Si le joueur ne regarde pas sous la coquille, il n'obtient pas d'information. S'il regarde, alors il sait que le caillou était là, mais, comme il l'a exposé à la lumière, il ne retrouve qu'un tas de poussière. Pourrait-on diminuer l'éclairement, de sorte que la lumière

qui atteint le caillou soit minimale? Pour voir quelque chose, il faut au minimum un photon.

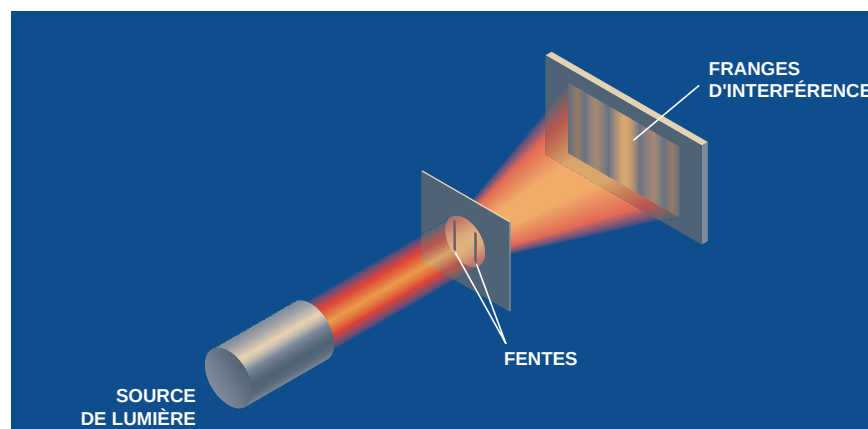
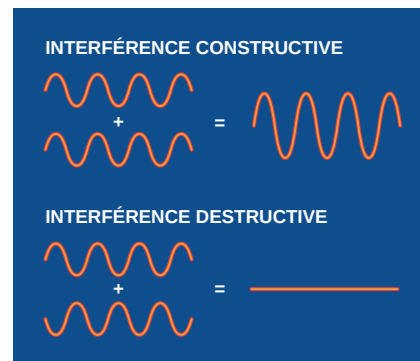
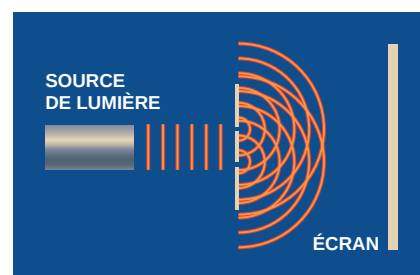
Elitzur, Vaidman et la bombe

Avec un caillou, le jeu n'a pas de conséquences dramatiques, mais, à l'Université de Tel Aviv, C. Elitzur et Lev Vaidman ont proposé un problème équivalent, où le caillou serait remplacé par une bombe qui exploserait en recevant le moindre photon, quelle que soit son énergie. Comment déterminer alors si la bombe se trouve sous une coquille?

C. Elitzur et L. Vaidman ont trouvé une solution qui ne donne un bon résultat qu'une fois sur deux, mais qui a montré qu'il existe un espoir de gagner un jour. Nous avons mentionné que la lumière est constituée de photons, mais, dans certaines circonstances, elle présente des propriétés purement ondulatoires et, notamment, peut former des interférences. Ces dernières se forment quand deux ondes se rencontrent dans une même partie de l'espace. Par exemple, dans l'expérience des fentes d'Young, la lumière traverse simultanément deux fentes parallèles, avant d'atteindre un écran situé derrière les fentes. Sur l'écran, les interférences se présentent sous la forme de raies alternativement sombres et claires (voir la figure 2). Les raies claires correspondent à des zones où les creux et les crêtes de la lumière provenant d'une fente se superposent respectivement aux crêtes et aux creux de la lumière provenant de l'autre fente. Les raies sombres correspondent à

des interférences destructives, où les crêtes de l'une des ondes se superposent aux creux de l'autre, et *vice versa*. Autrement dit, les raies claires correspondent à des zones de l'écran que les photons ont de fortes probabilités de frapper, et les bandes sombres de faibles probabilités.

La mécanique quantique montre que des interférences apparaissent lorsqu'un événement peut se produire de plus d'une façon, si ces façons sont indiscernables (cette définition de l'interférence est plus générale que celles qui sont généralement données dans les manuels). Dans l'expérience d'Young, la lumière a deux façons d'atteindre l'écran (elle peut passer par la fente supérieure ou par la fente inférieure), et on ne cherche pas à savoir



2. DES INTERFÉRENCES apparaissent lorsqu'un rayon laser traverse un écran percé de deux fentes : derrière l'écran, des ondes concentriques interfèrent (en haut). Ces ondes peuvent s'ajouter de façon constructive ou destructive (au milieu), engendrant une figure d'interférence composée d'une alternance de bandes sombres et claires (en bas).