Pourquoi les neutrinos traversent le miroir alors que les photons s'y réfléchissent ?

Pour prolonger notre billet sur la physique des particules solaires (J-1), nous allons répondre à la question suivante :

Pourquoi les photons, qui n'ont pas de masse, interagissent avec la matière, alors que les neutrinos, qui n'en n'ont pas non plus, la traversent sans interaction ?

D'abord la masse du neutrino au repos, si elle est infime, n'est pas nulle. Les scientifiques cherchent à la mesurer mais ils n'y sont pas encore arrivés car elle est au moins un million de fois plus légère que celle d'un électron. La masse du photon au repos, par contre, est absolument nulle.

Cette différence entre masse infime et masse nulle a des conséquences. La masse du neutrino est plus grande lorsqu'il est en mouvement car son énergie cinétique s'ajoute en quelque sorte à sa masse. Le photon, lui, est seulement porteur d'énergie, et toujours la même car il va toujours à la même vitesse (dans le vide). Contrairement à des particules massives, le photon subit la gravité par son énergie et non par sa masse. Ceci n'avait aucun sens en physique classique (avant 1915). C'est la théorie de la relativité générale qui a établi que ce qui était important, c'était la "quantité de mouvement". Le photon a une quantité de mouvement induite par son rayonnement (longueur d'onde). Le neutrino a une quantité de mouvement induite par sa masse et son énergie.

Mais au-delà de leur masse, **ce qui différencie aussi les deux particules, c'est que le photon interagit électromagnétiquement alors que le neutrino est électriquement neutre.** Le photon a ainsi une énorme probabilité de percuter ou d'être dévié par les électrons présents dans les atomes constituant la matière. Le neutrino lui n'interagit pas et traverse une matière, dont l'espace, pour lui, est … vide ! Car si les atomes sont serrés dans les objet solides, l'espace à l'intérieur de l'atome, est essentiellement vide… **Un atome est constitué d'environ 99,999 % de vide.** Au centre, le noyau est minuscule, mais contient presque toute la masse plus de 99,9 % de la masse. Si le noyau de l'atome avait la taille d'une bille de 1 cm, l'atome entier ferait 10 km de diamètre ! Un atome donc plein de vide que les neutrinos traversent sans s'en apercevoir. En fait la matière "solide" ne tient pas parce qu'elle est pleine, mais par la force des interactions électromagnétiques.

Comme toute matière, notre corps est plein de vide… Si on supprimait ce vide dans les atomes, la taille de la Terre serait de 2 cm, tout en conservant sa masse. Cela existe dans l'Univers : ce sont les "étoiles à neutrons". Une cuillère à café de ces étoiles représente une masse de 1 milliard de tonnes … Mais elles peuvent encore rayonner. Si la gravité augmente encore, cela génère un "trou noir", tel qu'on en a déjà observé d'une manière indirecte, bien sûr.

Donc revenons à notre question : pourquoi les photons se réfléchissent dans le miroir et que les neutrinos le traversent ? **En arrivant sur le miroir**, le photon interagit fortement avec les électrons constituant la matière, surtout si elle est métallique. Ces électrons absorbent l'énergie du photon et la réémettent aussitôt. C'est le mécanisme de la réflexion. Le neutrino, lui, neutre, traverse comme un rien le vide des atomes. **Le photon percute un mur, tandis que le neutrino continue dans un désert.**

Bon d'accord, mais ça n'explique pas pourquoi tous les photons venant d'une même direction repartent ensemble dans une autre. Que se passe-t-il à la surface du miroir ? Ceci est dû au fait que les photons percutent plusieurs atomes. Le photon est une onde électromagnétique qui fait osciller tous les électrons de plusieurs atomes de la surface du miroir. Dans la direction de réflexion, les petites ondes réémises sont parfaitement synchronisées (on appelle cela une "interférence constructive"). Dans les autres directions, elles sont chaotiques, désynchronisées ("interférence destructive").

Alors bien sûr, mieux vaut que la surface du miroir soit bien plane à l'échelle de la longueur d'onde des photons. C'est pourquoi les miroirs astronomiques sont polis avec une grande précision. Car si la surface est rugueuse, la synchronisation disparaît, la lumière s'éparpille. La réflexion devient diffusion.

Demain en vous rasant ou vous maquillant, repensez à tout ça et regardez avec compréhension le miroir autant que vous vous y regardez. Et n'oubliez pas : contrairement à l'Homme, le miroir réfléchit toujours avant de renvoyer une image…



Réplique d'un miroir de bronze poli de la dynastie des Han il y a 3000 ans qui m'a été offert par l'Université Shitong de Shanghai .