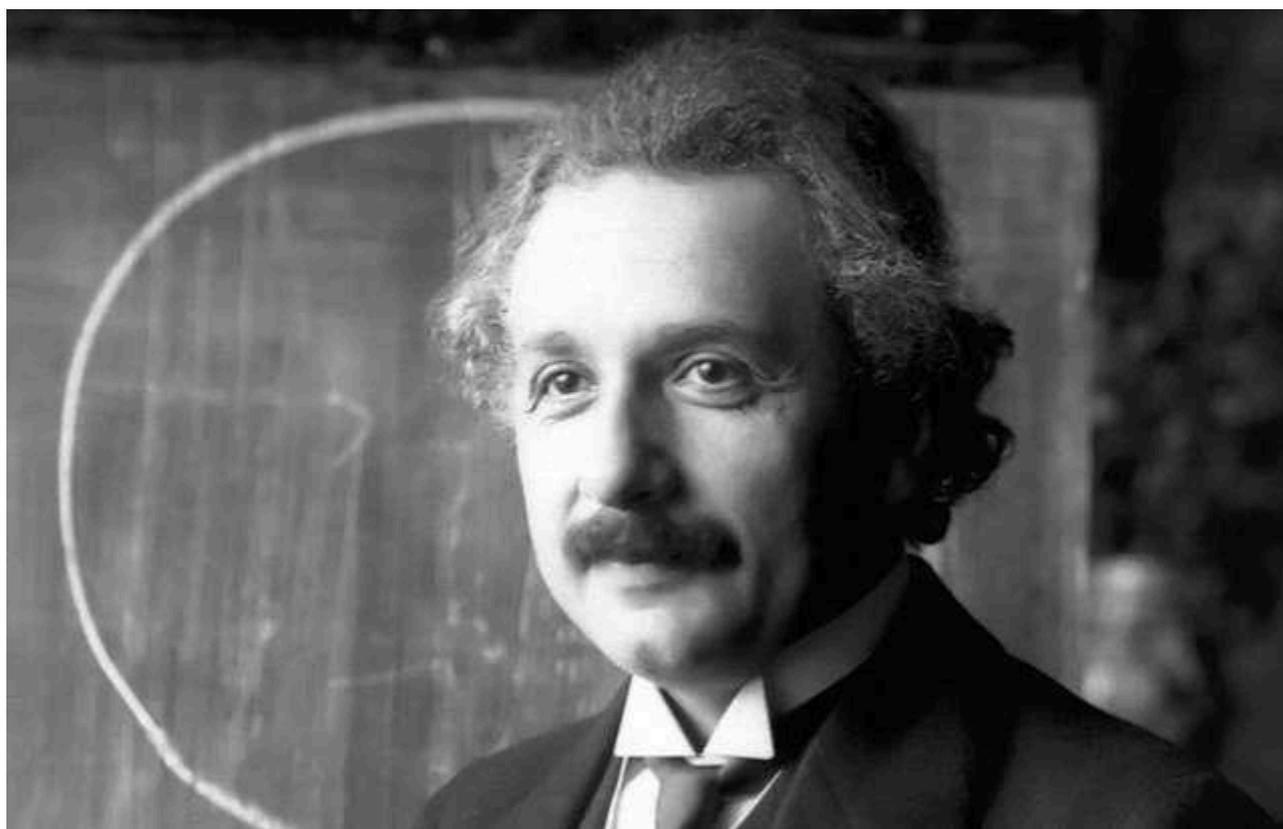




Comment la théorie de la relativité d'Einstein a changé nos vies

Par Gary Dagorn Le 27 novembre 2015 à 16h33 Mis à jour le 27 novembre 2015 à 17h49

La relativité générale, la célèbre théorie d'Albert Einstein, a 100 ans cette semaine. L'occasion de revenir sur une équation qui a changé le monde.



Albert Einstein en 1921. / Ferdinand Schmutzer

L'une des plus célèbres équations de la science fête ses 100 ans. [Publiée le 25 novembre 1915](#) dans la revue de l'Académie des sciences de Prusse (*Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, pages 844-847), l'équation d'Einstein – non, il ne s'agit pas de « $E = mc^2$ » – est l'équation fondamentale de la relativité générale. Des deux théories de la relativité découlent deux conclusions révolutionnaires qui sont toujours valables à ce jour. La première est que l'espace et le temps sont liés, on dit que le temps forme la quatrième dimension. La seconde est que l'un et l'autre sont relatifs. C'est-à-dire que l'espace et le temps ne sont pas absolus et peuvent être déformés. En ce sens,

l'équation d'Einstein implique que la gravitation ne soit plus considérée comme une force s'exerçant à distance, mais comme une propriété géométrique de l'espace-temps lui-même.

Il est souvent répété que cette théorie a révolutionné notre compréhension de l'univers et de la gravité. Mais cette révolution ne s'est pas arrêtée au cercle des physiciens et a donné naissance à plusieurs applications concrètes, utilisées quotidiennement.

1. Le GPS

Le GPS, ou *Global Positioning System*, est probablement l'application la plus connue de la relativité d'Einstein. Le GPS utilise une constellation de 32 satellites couvrant la totalité de la surface du globe. Ces satellites orbitent autour de la Terre à 20 200 kilomètres d'altitude, à une vitesse d'environ 14 000 km/h, pour calculer plusieurs centaines de millions de positions au sol chaque jour. Mais tout cela ne serait pas possible sans tenir compte des effets de la relativité.

Car à une telle altitude, la gravité terrestre subie par les satellites est 17 fois moindre qu'au sol. Or, le temps étant relatif, il ne s'écoule pas exactement à la même vitesse au sol ou en altitude, car la force de la gravité exercée n'y est pas la même. Au bout de 24 heures, une horloge atomique située à bord d'un satellite GPS aura 45 microsecondes d'avance sur la même horloge atomique située au sol, la masse de la Terre ralentissant l'écoulement du temps.

Le temps n'est pas dilaté que par la masse des objets, mais aussi par leur vitesse. Pour une horloge en mouvement telle que celles à bord des satellites GPS, le temps ralentit légèrement, d'environ 7 microsecondes par jour.

Il faut donc tenir compte de ces deux effets inverses combinés pour synchroniser continuellement les horloges à bord des satellites avec celles au sol pour corriger cette avance (45 microsecondes d'avance et 7 microsecondes de retard, soit 38 microsecondes d'avance toutes les 24 heures).

38 microsecondes, ça n'a l'air de rien mais c'est assez pour fausser une navigation après seulement deux minutes, l'erreur de positionnement pouvant atteindre jusqu'à dix kilomètres par jour.

2. Les télévisions à tube cathodique

Même s'ils sont maintenant dépassés par les écrans plats, les écrans cathodiques ont régné sur le monde pendant quarante ans. Et votre vieille et volumineuse télévision n'aurait pas pu fonctionner si l'on ne savait pas prendre en compte les effets de la relativité d'Einstein.

Pourquoi ça ? Parce que dans un écran à tube cathodique, l'image est générée par un flux d'électrons venant frapper une plaque électroluminescente, produisant de la lumière à chaque

stimulation par les électrons. Les électrons, des particules élémentaires portant une charge électrique négative, sont accélérés à grande vitesse puis déviés par des bobines générant un champ magnétique pour frapper à l'endroit visé la plaque luminescente. Seulement, ces électrons sont accélérés à près de 30 % de la vitesse de la lumière (soit environ 90 000 kilomètres par seconde), et à une telle vitesse, les effets de la relativité générale deviennent non-négligeables.

Les ingénieurs ont donc dû prendre en compte la contraction des longueurs dans la fabrication des aimants, sans quoi le flux d'électron, mal dévié, fabriquerait des images totalement inintelligibles.

La théorie de la relativité n'a pas seulement eu des applications technologiques directes, elle a su également expliquer précisément l'origine de certains phénomènes physiques.

3. L'électromagnétisme

Vous l'ignorez peut-être, mais vous profitez des effets de la relativité (restreinte) à chaque fois que vous utilisez de l'électricité – en lisant ces lignes par exemple.

Pourquoi ? Parce que l'on génère la majeure partie de notre électricité en tirant partie des effets relativistes de l'électromagnétisme, car la plupart des générateurs d'électricité produisent leur énergie à partir d'un puissant champ magnétique.

Qu'a à voir la théorie de la relativité là-dedans ? Pour le comprendre, il faut expliquer la notion de contraction des longueurs. La relativité restreinte énonce que si un objet A d'une longueur d'un mètre est en mouvement par rapport à un observateur fixe B, la longueur perçue de cet objet A par l'observateur B sera inférieure à un mètre. Cette longueur perçue dépend de la vitesse de l'objet A : plus il se déplace rapidement, plus il semblera se contracter aux yeux d'un observateur fixe :

Le principe est le même pour générer de l'électricité à l'aide d'un champ magnétique. Un champ magnétique appliqué sur un fil conducteur en mouvement produit un flux d'électrons qui se déplacent le long du fil. Dans le référentiel des électrons, les protons (qui sont chargés positivement) sont également en mouvement, c'est à ce moment que la contraction des longueurs s'applique : du point de vue des électrons, l'espace entre chaque proton est plus court, la densité de particules chargées positivement augmente et crée dès lors un courant électrique chargé lui aussi positivement.

4. La couleur de l'or

Peut-être est-ce un fait plus anodin, mais aussi surprenant que cela puisse paraître, la couleur de l'or est également due aux effets de la théorie de la relativité.

Pour le comprendre, il faut examiner l'atome d'or. Un atome d'or est plutôt lourd, massif. Il comporte un noyau de 79 protons et autant d'électrons orbitant autour du noyau. Les

électrons peuvent être sur plusieurs « orbites » plus ou moins proches du noyau, tout comme les planètes du système solaire tournent autour du soleil à plus ou moins de distance.

Modèle orbital de l'atome d'or et de ses 79 électrons. / Greg Robson / Wikimedia Commons
Seulement, la vitesse de révolution des électrons positionnés au plus proche du noyau est si élevée (environ la moitié de la vitesse de la lumière, soit 150 000 km/s) que les effets de la relativité interviennent. La contraction des longueurs fait apparaître ces électrons plus proches les uns des autres et influence les longueurs d'onde que ceux-ci absorbent et reflètent. Sans ces effets relativistes, les atomes d'or devraient théoriquement aborder des longueurs d'onde dans l'ultraviolet, c'est-à-dire dans le spectre non-visible de la lumière. Or, les atomes d'or absorbent en réalité la lumière située dans la partie bleue du spectre visible et ne reflètent donc que la lumière située entre le jaune et le rouge, d'où la couleur dorée dont il brille.
Gary DagornLe 27 novembre 2015 à 17h49

PAS LE TEMPS DE LIRE UN ARTICLE ? SAUVEGARDEZ-LE EN UN CLIC

Abonnez-vous au Monde.fr pour 17,99€ par mois sans engagement et bénéficiez d'un mois offert

Déjà abonné ?Abonnez-vous
Découvrez l'Édition abonnés

RÉACTIONS

Réagissez

- UntitledLe 28 novembre 2015 à 10h54
L'auteur de l'article écrit : "la couleur de l'or est également due aux effets de la théorie de la relativité." Je ne veux pas pinailler (mais je le fais), ce phénomène est dû aux effets de la relativité elle-même, non de sa théorie. L'effet de la théorie a été, par exemple, de changer notre perception du monde physique. Quant à l'effet relativiste, il s'applique aux électrons de l'or. Ce qui se conçoit bien...