

## Calcul de la vitesse maximale de déplacement d'un électron dans le vide

Claude Mercier ing., 1 mars 2018

claude.mercier@gctda.com

---

*L'électron est un constituant de l'atome et possède un statut particulier. En effet, contrairement au proton et au neutron, l'électron est une particule élémentaire. Il fait partie de la famille des fermions et fait partie du groupe des leptons. À ce jour, c'est la particule élémentaire qui possède la masse au repos la plus élevée.*

*D'un autre côté, le niveau d'énergie le plus élevé qu'une particule élémentaire en mouvement puisse atteindre correspond à l'énergie contenue dans la masse de Planck.*

*En raison de son statut particulier et des connaissances précises que nous avons de ses caractéristiques, nous sommes en mesure de déterminer la vitesse maximale de déplacement d'un électron dans le vide. Cette vitesse est très proche de la vitesse de la lumière sans pour autant lui égaler.*

---

**MOTS CLÉS :** Électron, vitesse maximale de déplacement, masse de Planck

### 1. INTRODUCTION

Dans les équations relativistes d'Einstein, la vitesse de la lumière dans le vide joue le rôle de vitesse limite [5]. Nous ne remettons pas ce point en question. Mais est-elle vraiment la seule limite?

Il y a d'autres contraintes à tenir en compte. Il sera montré que l'énergie d'une particule élémentaire ne peut pas dépasser l'énergie contenue dans la masse de Planck  $m_p$ . De plus, malgré toutes les recherches réalisées en physique des particules, l'électron possède la masse au repos la plus élevée. Ces deux points viennent circonscrire les limites des équations de la relativité d'Einstein appliquées à l'électron.

Cet article a pour but de déterminer la vitesse maximale de déplacement d'un électron dans le vide.

## 2. DÉVELOPPEMENT

### 2.1. Valeur des paramètres physiques utilisés

Énonçons tous les paramètres fondamentaux de physique que nous avons l'intention d'utiliser dans cet article. Ces valeurs sont toutes disponibles dans le CODATA 2014 [1].

- Vitesse de la lumière dans le vide  $c \approx 299792458$  m/s
- Constante de structure fine  $\alpha \approx 7,2973525664(17) \times 10^{-3}$
- Masse de l'électron  $m_e \approx 9,10938356(11) \times 10^{-31}$  kg

### 2.2. Vitesse maximale d'un électron

Nous désirons ici calculer la vitesse maximale de déplacement d'un électron dans le vide. Dans ses équations de la relativité, Einstein a postulé que la vitesse de la lumière était une limite de vitesse infranchissable. Sans contredire ce postulat, nous montrerons qu'il existe en même temps d'autres limites qui ne peuvent pas être franchies et dont il faut tenir compte.

Commençons par montrer que la masse de Planck  $m_p$  correspond au niveau d'énergie le plus élevé qu'une particule élémentaire puisse atteindre.

En raison du principe d'incertitude d'Heisenberg, la longueur de Planck  $L_p$  est considérée comme étant la plus petite unité de longueur. Pour cette raison, une particule qui aurait comme longueur d'onde  $\lambda = 2\pi L_p$  aurait la masse la plus élevée qui soit et représenterait le niveau d'énergie le plus élevé qu'une particule puisse avoir.

En considérant que cette particule peut être vue comme étant une onde, nous pouvons calculer son énergie :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{2\pi \cdot L_p} \quad (1)$$

En considérant que cette particule a une masse, l'équation d'Einstein découlant de la relativité restreinte permet de calculer la valeur de son énergie [5] :

$$E = m \cdot c^2 \quad (2)$$

**Calcul de la vitesse maximale de déplacement d'un électron dans le vide****3**

En faisant égaliser les équations (1) et (2) et en isolant la masse  $m$ , nous obtenons :

$$m = \frac{h}{2\pi \cdot L_p \cdot c} \quad (3)$$

La longueur de Planck  $L_p$  est communément donnée par l'équation suivante (consulter le CODATA 2014 [1]) :

$$L_p = \sqrt{\frac{h \cdot G}{2\pi \cdot c^3}} \quad (4)$$

En remplaçant  $L_p$  de l'équation (3) par l'équation (4), nous constatons que la masse  $m$  est en réalité la masse de Planck  $m_p$  (consulter le CODATA 2014 [1]) :

$$m_p = \sqrt{\frac{h \cdot c}{2\pi \cdot G}} \approx 2,176470(51) \times 10^{-8} \text{ kg} \quad (5)$$

Par conséquent, nous pouvons en conclure qu'en convertissant la masse de Planck  $m_p$  à l'aide de l'équation (2), celle-ci correspond au niveau d'énergie le plus élevé qu'une particule puisse avoir.

Ici,  $G$  est la constante de gravitation universelle. Selon des recherches qui ont déjà été présentées [3], la constante de gravitation universelle  $G$  est égale à :

$$G = \frac{c^2 \cdot r_e \cdot \alpha^{20}}{m_e \cdot \beta} \approx 6,673229809(74) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2) \quad (6)$$

Cette valeur correspond assez bien à la valeur mesurée et disponible dans le CODATA 2014 [1] où  $G \approx 6,67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ .

Le problème c'est que si toutes les particules de l'univers avaient la masse de Planck, l'univers serait au repos. Ce n'est évidemment pas le cas selon les observations qui peuvent être faites. Tout est en mouvement.

Einstein a montré qu'en donnant une vitesse  $v$  à un objet qui possède une masse au repos égale à  $m_0$ , nous augmentons sa masse pour obtenir une masse  $m'$  par effets relativistes [5] :

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7)$$

Si une particule possède le niveau d'énergie le plus élevé, c'est-à-dire qu'elle a la masse de Planck  $m_p$ , il est impossible de lui donner une quelconque vitesse. Une

particule qui aurait, au repos, une masse égale à la masse de Planck ne peut avoir une vitesse autre qu'une vitesse nulle. Comme rien n'est statique dans l'univers, une telle particule est donc une utopie et n'existe pas.

Alors, quelle est la particule élémentaire qui possède la masse au repos la plus élevée (et par conséquent, le niveau d'énergie le plus élevé)? Dans la nature, cette particule élémentaire est l'électron.

Bien que les grands accélérateurs ne cessent de trouver de nouvelles particules, nous ne pensons pas qu'une particule élémentaire avec une masse supérieure à celle de l'électron aurait passée inaperçue jusqu'à maintenant. Élevons donc cette constatation au rang de postulat :

Postulat : *L'électron est la particule élémentaire qui possède la masse au repos la plus élevée qui soit.*

La masse de Planck  $m_p$  est une limite haute infranchissable pour la masse de l'électron et ce, même s'il est accéléré à une vitesse relativiste  $v_e$ .

Transformons l'équation (7) pour obtenir :

$$m_p = \frac{m_e}{\sqrt{1 - \frac{v_e^2}{c^2}}} \quad (8)$$

La vitesse  $v_e$  de l'électron trouvée à l'aide de cette équation sera nécessairement inférieure à la vitesse de la lumière.

En isolant  $v_e$ , nous obtenons la vitesse maximale d'un électron :

$$v_e = c \cdot \sqrt{1 - \frac{m_e^2}{m_p^2}} \approx c \cdot \left( 1 - \frac{m_e^2}{2 \cdot m_p^2} \right) \quad (9)$$

En utilisant différents travaux que nous avons faits sur la vitesse de la lumière [2], sur la constante gravitationnelle universelle  $G$  [3] et sur la constante  $N$  (nombre sans unité correspondant au nombre maximal de photons pouvant être

## Calcul de la vitesse maximale de déplacement d'un électron dans le vide

5

contenus dans l'univers) [3], nous sommes en mesure de faire l'approximation suivante :

$$\frac{v_e}{c} \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2 \cdot \beta \cdot N^{1/3}} \approx 1 - 8,76 \times 10^{-46} \quad (10)$$

Cette dernière équation permet d'apprécier à quel point il est possible d'accélérer un électron. La vitesse  $v_e$  obtenue est très proche de la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  sans pour autant lui être égale.

L'équation (10) peut être retrouvée grâce aux équations (5) et (6) ainsi qu'aux équations (13) et (14) qui sont montrées plus loin.

La constante  $c$  joue le rôle de vitesse limite. Mentionnons des travaux que nous avons déjà faits par le passé [4] qui montrent que même la lumière n'atteint pas la vitesse limite  $c$  (même si nous nommons cette constante « vitesse de la lumière dans le vide »). Ceci est causé par le fait qu'il est impossible de donner plus d'énergie à une particule que celle contenue dans l'univers (ce qui est une évidence en soit). Pour cette raison, la vitesse maximale de la lumière  $v_L$  est donnée par l'équation suivante :

$$v_L = c - \varepsilon_v \approx c \quad (11)$$

Dans cette équation,  $\varepsilon_v$  a été baptisé « quantum de vitesse » [4]. C'est la plus petite unité de vitesse pouvant exister.

$$\varepsilon_v = \frac{c}{2N} \approx 2,34 \times 10^{-114} \text{ m/s} \quad (12)$$

Dans notre premier article sur la vitesse de la lumière [2], un modèle cosmologique a été conçu où l'univers matériel est en expansion à une vitesse de  $\beta \cdot c$ . À l'aide d'un système de 4 équations et de 4 inconnues, la valeur de  $\beta$  a été trouvée :

$$\beta = 3 - \sqrt{5} \approx 0,76 \quad (13)$$

Dans ce modèle [2], l'univers matériel est en expansion [9] à une vitesse moyenne avoisinant 76 % de la vitesse de la lumière  $c$ . Toujours selon le même modèle cosmologique [2], l'univers matériel est lui-même circonscrit dans une autre sphère, plus grande, que nous avons baptisé l'univers lumineux qui, lui, est en expansion à la vitesse de la lumière. Dans ce modèle, la vitesse de la lumière augmente au cours du temps [2] en raison du fait que l'univers est en expansion et qu'il s'éloigne d'un centre de masse qui influence l'indice de réfraction du

vide. En s'éloignant du centre de masse, l'indice de réfraction du vide<sup>1</sup> [6, 7, 8] diminue progressivement pour tendre vers 1. Dans un univers qui tend vers une dimension infinie, la vitesse de la lumière tend vers une limite que nous avons baptisée  $k$  et qui est environ deux fois la vitesse de la lumière actuelle.

Dans un autre article présenté en 2013 [3], le nombre  $N$  a été calculé. Ce nombre correspond au nombre maximal de photons pouvant être contenus dans l'univers. Le nombre  $N$  est relié à la constante de structure fine [3], ce qui permet d'évaluer sa valeur de manière précise comme suit :

$$N = \frac{1}{\alpha^{57}} \approx 6,30 \times 10^{121} \quad (14)$$

Le nombre  $N$  fait partie d'une conjecture que Dirac a faite sur les grands nombres [10].

### 3. CONCLUSION

L'électron peut être accéléré à une vitesse qui est très proche de celle de la lumière sans toutefois l'atteindre.

La capacité d'un électron à se déplacer avec une vitesse approchant la vitesse de la lumière est limitée par le fait que son énergie ne peut pas dépasser celle contenue dans la masse de Planck. Les calculs décrits dans cet ouvrage viennent de poser une limite au pouvoir d'accélérer une particule telle que l'électron.

### 4. RÉFÉRENCES

- [1] "CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014", Cornell University Library, juillet 2015, article Internet à : <http://arxiv.org/pdf/1507.07956v1.pdf>
- [2] Mercier, Claude, "La vitesse de la lumière ne serait pas constante", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 8 octobre 2011, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
- [3] Mercier, Claude, "Calcul de la constante gravitationnelle universelle  $G$ ", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 13 mars 2013, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)

---

<sup>1</sup> Il est à noter que la valeur de l'indice de réfraction obtenue grâce à la relativité restreinte d'Einstein [6] n'est pas exactement la même que celle obtenue grâce à la relativité générale [7, 8]. Il y a un facteur 2 de différence et c'est la relativité générale qui donne les bons résultats. Cependant, il peut être constaté qu'en 1905, avec la relativité restreinte, Einstein avait déjà conscience que les effets relativistes avaient une influence sur l'indice de réfraction du vide.

**Calcul de la vitesse maximale de déplacement d'un électron dans le vide**

7

- [4] Mercier, Claude, "Calcul du quantum de vitesse et de la vitesse limite des objets", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 14 janvier 2013, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
- [5] Einstein, Albert, "On the Electrodynamics of Moving Bodies ", *The Principle of Relativity (Dover Books on Physics)*, New York, Publications Dover, 1952 (article original de 1905), pp. 35-65.
- [6] Einstein, Albert, "On the Influence of Gravitation on the Propagation of Light", *The Principle of Relativity (Dover Books on Physics)*, New York, Publications Dover, 1952 (article original de 1911), pp. 97-108.
- [7] Binney, James et Michael Merrifield, "Galactic astronomy", *Princeton University Press*, 1998, p. 733, de l'équation A2.
- [8] Maneghetti, Massimo, "Introduction to Gravitational Lensing, Lecture scripts", *Institut für Theoretische Astrophysik*, Bologne, Italie, 2006, p. 7, de l'équation 1.19, Web. <<http://www.ita.uni-heidelberg.de/~massimo/sub/Lectures/chapter1.pdf>>
- [9] Hubble, E. et Humason, M. L., "The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae", *The Astrophysical Journal*, v. 74, 1931, p.43.
- [10] Dirac, P. A. M., "Cosmological Models and the Large Numbers Hypothesis", *Proceedings of the Royal Society*, Grande-Bretagne, 1974, pp. 439-446.