

Modèle expliquant la force électrostatique

Claude Mercier ing., 19 août, 2015
Rév. 13 septembre, 2015

claude.mercier@cima.ca

L'équation décrivant la force électrostatique entre deux particules chargées statiques est largement utilisée dans les calculs en ingénierie, car elle est simple à utiliser et demande peu de connaissances mathématiques. C'est une équation simple qui décrit bien les phénomènes électriques à basse vitesse de particules chargées électriquement.

Plusieurs tentatives ont été entreprises pour comprendre les fondements réels du phénomène de force régissant le comportement de particules chargées statiques. Nous avons les outils mathématiques pour prédire le comportement de deux particules, mais savons-nous vraiment d'où vient l'attraction ou la répulsion de particules chargées?

Dans ce document, nous voulons montrer que les forces électriques n'existent tout simplement pas. Le concept de force est cependant utile et facile à utiliser. Pour cette raison, si nous désirons conserver ce concept, il est facile de le faire apparaître et de l'utiliser. Nous montrerons cependant que le vrai principe, qui est sous-jacent, c'est que les particules électriques baignent toutes dans un immense bain de photons qui crée une pression de radiation thermodynamique sur les particules.

MOTS CLÉS : Force électrique, photon, pression de radiation thermodynamique

1. INTRODUCTION

Nous commencerons par exposer l'hypothèse que les forces n'existent pas et que ce n'est qu'un concept utile.

En second lieu, nous essayerons de modéliser le photon qui crée la pression de radiation thermodynamique dans le vide.

Ensuite, nous analyserons ce qui se passe entre deux particules chargées électriquement.

Nous verrons qu'il est possible, si nous le désirons, de faire apparaître le concept de force électrostatique entre particules chargées, mais que le vrai principe demeure la pression de radiation thermodynamique qui force les particules à se rapprocher ou à se repousser. Les transmissions des quantités de mouvement des collisions entre les photons de l'espace et les particules en relation créent cette pression de radiation.

2. DÉVELOPPEMENT

2.1. Les forces n'existent pas

Commençons par faire l'énoncé choquant suivant : les forces gravitationnelles, électromagnétiques et nucléaires n'existent pas. En fait, aucune force n'existe. Les forces sont des concepts accompagnés par des outils mathématiques utiles pour prédire les interactions entre différents éléments de matière. Mais ces dernières n'existent tout simplement pas.

Dans cet article, nous nous attarderons à expliquer l'attraction et la répulsion de particules chargées électriquement. En utilisant le concept de force, nous quantifierons ces comportements sous forme d'équations. Comme le concept de force est utile et facile à comprendre, nous montrerons qu'il est possible de faire apparaître ce concept comme étant un résultat mathématique et non comme étant une explication aux phénomènes d'attraction et de répulsion des charges électriques.

2.2. Le photon est la particule la plus élémentaire

Supposons que, dans sa représentation la plus simple, toute matière est faite de photons confinés. Pour s'en convaincre, Einstein a énoncé l'équation suivante [1]:

$$E = m_0 \cdot c^2 \quad (1)$$

Selon le CODATA 2010 [2], la vitesse de la lumière dans le vide est $c \approx 299792458$ m/s.

Interrogeons-nous sur la signification de cette équation. Elle dit qu'il est possible de convertir une masse au repos m_0 en une certaine énergie (photons) par la désintégration de la matière. Mais, cette équation n'est pas unilatérale. Il est aussi possible de prendre la même quantité d'énergie et de la convertir en masse. Cette équation fonctionne de manière bilatérale. Si, en finale, les photons sont le résultat de la désintégration de la matière, nous en concluons qu'à quelque part, toutes les particules sont en réalité faites de photons confinés. Les électrons, protons et neutrons ne sont pas les particules les plus élémentaires. Pas même les quarks. Ce sont les photons qui semblent être les particules les plus élémentaires qui soient.

2.3. Modèle représentant le vide thermodynamique

Le vide, tel que nous avons l'habitude de le concevoir, est une absence de molécules et d'atomes. Cependant, le vide n'est pas le néant tel que son nom pourrait le laisser suggérer. Le vide est plein de photons. Il est un véritable bain d'ondes électromagnétiques de différentes longueurs d'onde allant de $2\pi L_p$ (où L_p est la longueur de Planck) jusqu'à la valeur de la circonférence apparente de l'univers $2\pi R_u$ (où R_u est le rayon apparent de l'univers lumineux). Afin d'éviter toutes mésententes avec le terme "vide" qui peut sembler faire référence à une absence totale de tout, l'histoire aurait peut-être dû conserver l'appellation originale "d'éther" pour le vide. Cependant, bien que nous n'aimons pas ce terme et que nous cherchons à l'éviter, afin de conserver les termes les plus récents et les plus utilisés, nous conserverons le terme "vide". Cependant, nous prévenons le lecteur que, pour nous, le vide thermodynamique foisonne de photons qui percutent les masses de tous bords et de tous les côtés. Le "vide" est simplement un vide de matière.

3. FORCE ÉLECTROSTATIQUE ENTRE 2 PARTICULES CHARGÉES STATIQUES

Dans une deuxième étape, essayons de trouver un modèle qui explique la force électrostatique entre deux particules chargées statiques en utilisant comme principe le fait que les masses sont soumises à une pression de radiation thermodynamique composée de photons qui percutent les particules en relation.

Pour réussir à expliquer les forces électrostatiques, nous sommes obligés de nous faire une idée conceptuelle du photon.

3.1. L'univers foisonne de photons

Le vide de l'univers n'est qu'une absence de matière. Cependant, il foisonne de photons de toutes les longueurs d'onde situées entre $2\pi L_p$ et $2\pi R_u$.

Ici, L_p est la longueur de Planck et R_u est le rayon de courbure apparent de l'univers lumineux. Selon le CODATA 2010 [2], $L_p \approx 1,616199(97) \times 10^{-35}$ m. Selon nos travaux [3], $L_p \approx 1,616125436(53) \times 10^{-35}$ m. Selon nos meilleures estimations, le rayon de courbure apparent de l'univers lumineux [4] serait $R_u \approx 1,2831078806(68) \times 10^{26}$ m.

Ces photons peuvent naître et disparaître du vide. Ces photons percutent les atomes et les particules élémentaires de tous les bords et de tous les côtés. Ces mêmes photons peuvent être représentés par de petites tornades dans l'espace-temps qui ont la forme de ressorts. Vus de face (dans le sens du déplacement), les photons sont comme un disque circulaire en rotation de rayon égal à la longueur de Planck L_p . Vus de côté, ils ressemblent à une sinusoïde.

Ce qui confère différentes longueurs d'onde à ces photons, c'est le fait que ces tornades tournent plus ou moins vite. En effet, c'est comme avoir un tourniquet. Le rayon d'un tourniquet ne pourra jamais dépasser celui requis pour que la vitesse tangentielle de sa périphérie soit celle de la vitesse de la lumière. Alors, même si le photon a un rayon réellement égal à la longueur de Planck L_p , la longueur d'onde du photon est donnée par la distance que la lumière peut parcourir durant le temps t requis pour que le photon puisse effectuer une rotation complète sur lui-même :

$$\lambda = 2\pi \cdot \frac{c}{t} \quad (2)$$

Les photons naissent par paire identique possédant une vitesse de déplacement opposée. La somme des moments de rotation est nulle. La somme des quantités de mouvements est nulle. Il est à noter qu'il y a autant de chances que les photons peuvent naître avec une rotation de sens horaire ou antihoraire.

Comme toutes les autres particules, lorsqu'un photon est créé, un anti-photon est créé. Un tourne dans un sens et l'autre tourne dans l'autre sens. Les autres caractéristiques sont similaires et indifférenciables. L'univers baigne dans un bain de photons de différentes longueurs d'onde qui vont dans tous les sens.

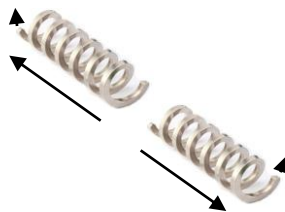


Figure 1) Création d'une paire de photons dans le vide.

3.2. La force de répulsion entre deux particules de même charge

Pour aider à comprendre l'étape suivante de notre développement, il faut imaginer une tourne-disque en rotation à une certaine vitesse angulaire ω . Supposez

maintenant qu'on lâche un ballon sur le tourne-disque. Comme le ballon n'a pas la même vitesse de rotation que le tourne-disque, il rebondira en se faisant dévier sur un côté quelconque. Le seul moyen pour le ballon de rebondir et revenir à son point de départ est de tomber avec un moment de rotation identique et de même sens que le tourne-disque.

Imaginons deux charges de même signe (par exemple : deux électrons ou deux protons) espacées d'une distance r . Chaque particule est soumise aux impacts répétés des photons situés dans l'espace. Ces photons percutent la particule de tous les côtés. Cependant, les photons situés dans l'axe entre les deux particules commenceront par percuter une des particules et rebondira sur l'autre. Comme les deux particules ont la même charge, elles sont comme deux tourne-disques identiques. Les photons qui ont la même vitesse de rotation que ces particules rebondiront à tour de rôle sur une et l'autre des particules. Ils exerceront une pression répulsive entre les deux particules. Cette pression sera d'autant plus grande que les particules seront proches l'une de l'autre.

Bien sûr, il y a continuellement formation et destruction de photons dans l'espace. Par conséquent, plus les particules sont éloignées l'une de l'autre, plus il y a de chance que de nouveaux photons se forment dans l'axe situé entre les deux particules. Les photons qui rebondissaient dans l'axe situé entre les deux particules auront eux-mêmes plus de chance d'être déviés de leur trajectoire par des photons qui voyagent dans d'autres sens. Aussi, l'intervalle de temps requis pour faire une percussion augmente avec la distance. En résultante, nous constaterons que plus les particules sont éloignées, plus la "force de répulsion" sera faible.

3.3. La force d'attraction entre deux particules de charge contraires

Imaginons deux charges contraires (par exemple : un électron et un proton) espacées d'une distance r . En utilisant le même principe que précédemment, nous constatons que chaque particule se fera percuter par les photons de la même manière que précédemment. La différence est que dans l'axe électron-proton, un photon qui sera en phase avec l'électron sera nécessairement hors phase avec le proton et vice et versa. Par conséquent, lorsqu'un photon rebondit sur une particule dans l'axe électron-proton, il finit par être éjecté de cet axe dès qu'il touche l'autre particule. Après un très bref délai, il se forme un vide quantique de photons dans cet axe. Plus aucun photon ne peut y rester. Les particules sont alors poussées l'une contre l'autre par la pression de radiation venant de l'extérieur.

Bien sûr, comme pour le cas des charges identiques, il y a continuellement formation et destruction de photons dans l'espace. Par conséquent, plus les particules sont éloignées l'une de l'autre, plus il y a de chance que de nouveaux photons se forment dans l'axe électron-proton et plus il y aura de nouveaux photons qui feront de nouvelles percussions et moins les particules chercheront à être poussées l'une contre l'autre. En résultante, nous constaterons que plus les particules sont éloignées, plus la "force d'attraction" sera faible.

3.4. La force nulle entre deux particules neutres

Imaginons maintenant les deux possibilités suivantes : deux charges neutres ou une charge électrique non-neutre et une charge neutre, espacées d'une distance r . En utilisant le même principe que précédemment, nous constatons qu'en percutant la particule neutre dans l'axe situé entre les deux particules, il y a autant de chance que le même photon soit expulsé ou qu'il rebondisse. Par conséquent la présence d'une particule neutre enlève toute contribution possible à une quelconque accélération dû à la présence de la particule neutre. Nous dirons alors qu'il n'y a aucune "force d'attraction" ou de "répulsion" entre les particules. C'est d'ailleurs ce que prédit l'équation standard décrivant la force électrique entre particules.

3.5. Évaluation de la force d'attraction/répulsion entre deux charges

Essayons d'évaluer l'énergie de répulsion contenue entre les deux particules.

Considérons le fait que les particules qui entre en interaction sont élémentaires et ont une grosseur physique réelle égale à une sphère de rayon égal à la longueur de Planck L_p . C'est important, car il faut que toutes les particules chargées aient la même grosseur physique que les photons, sinon la grandeur de la surface de contact deviendrait une caractéristique importante. Comme toutes les particules élémentaires ont la même grosseur physique (par exemple, un électron est considéré ponctuel et nous faisons l'hypothèse qu'il aurait un diamètre réel de l'ordre $2\pi L_p$ s'il n'avait pas de moment de rotation.

Pour faciliter les calculs, imaginons maintenant deux électrons en présence l'un de l'autre.

Le photon qui sera en mesure de rebondir entre les deux particules devra tourner en phase avec les deux particules. Einstein a déjà montré que la vitesse

Modèle expliquant la force électrostatique

7

tangentielle v de rotation d'un disque en rotation fera en sorte d'augmenter virtuellement le diamètre effectif du disque pour lui donner la valeur suivante :

$$\text{circonférence du disque} = \frac{2\pi \cdot L \cdot P}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

Dans le cas qui nous préoccupe, nous faisons l'hypothèse que le facteur de Lorentz est exactement égal à la valeur de la constante de structure fine α .

$$\text{circonférence du photon} = \frac{2\pi \cdot L \cdot P}{\alpha} \quad (4)$$

Selon le CODATA 2010 [2], la valeur de la constante de structure fine serait $\alpha \approx 7,297352565698(24) \times 10^{-3}$.

Bien sûr, comme le photon devra parcourir une distance r entre les deux particules, la longueur effective totale du "ressort" est donnée par le nombre n de tours que fera le ressort pour se rendre d'un point à l'autre en avançant par incréments égal à la longueur de Planck:

$$\text{Longueur du ressort} = \frac{2\pi \cdot L \cdot P}{\alpha} \cdot n \quad \text{où } n = \frac{r}{L \cdot p} \quad (5)$$

Donc, en finale, la longueur du "ressort" est égale à la longueur d'onde λ du photon qui rebondit entre les particules :

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot r}{\alpha} \quad (6)$$

L'énergie de ce photon sera donné par :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c \cdot \alpha}{2\pi \cdot r} \quad (7)$$

Selon le CODATA 2010 [2], la valeur de la constante de Planck $h \approx 6,62606957(29) \times 10^{-34}$ Joule·s.

L'énergie E représente le travail requis pour espacer les deux particules d'une distance r avec une force constante F_e :

$$E = F_e \cdot r \quad (8)$$

En cherchant à connaître la force de répulsion F_e exercée entre les deux particules, nous obtenons, à l'aide des équations (7) et (8), la force F suivante :

$$F_e = \frac{h \cdot c \cdot \alpha}{2\pi \cdot r^2} \quad (9)$$

Bien sûr, si nous multiplions le numérateur et le dénominateur par le rayon classique de l'électron r_e multiplié par le carré de la vitesse de la lumière, c'est-à-dire $r_e \cdot c^2$, nous n'aurons rien changé.

$$F_e = \frac{h \cdot c \cdot \alpha \cdot r_e \cdot c^2}{2\pi \cdot r_e \cdot c^2 \cdot r^2} \quad (10)$$

Selon le CODATA 2010 [2], la valeur du rayon classique de l'électron $r_e \approx 2,8179403267(27) \times 10^{-15}$ m.

Rappelons que la dualité onde-particule nous permet de donner l'énergie E_e d'un électron de deux manières : par l'énergie de la masse m_e de l'électron et par l'énergie de l'onde :

$$E_e = m_e \cdot c^2 = \frac{h \cdot c \cdot \alpha}{2\pi \cdot r_e} \quad (11)$$

Selon le CODATA 2010 [2], la valeur de la masse de l'électron $m_e \approx 9,10938291(40) \times 10^{-31}$ kg.

En partant de l'équation (11) et en faisant quelques simplifications algébriques, nous trouvons que la masse m_e d'un électron est donnée par l'équation suivante :

$$m_e = \frac{h \cdot \alpha}{2\pi \cdot r_e \cdot c} \quad (12)$$

Simplifions l'équation (10) à l'aide de l'équation (12) :

$$F_e = \frac{m_e \cdot r_e \cdot c^2}{r^2} \quad (13)$$

Nous pouvons décrire le carré de la vitesse de la lumière dans le vide à l'aide de la perméabilité du vide μ_0 et la permittivité du vide ε_0 :

$$c^2 = \frac{1}{\mu_0 \cdot \varepsilon_0} \quad (14)$$

Selon le CODATA 2010 [2], la valeur de la perméabilité du vide est donnée par $\mu_0 \approx 4\pi \times 10^{-7}$ N/A² et la permittivité du vide est donnée par $\varepsilon_0 \approx 8,854187817 \times 10^{-12}$ F/m.

Modèle expliquant la force électrostatique

9

Grâce à l'équation (14), réécrivons l'équation (13) de la manière suivante :

$$F_e = \frac{m_e \cdot r_e}{\mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} \quad (15)$$

Multiplions le numérateur et le dénominateur par le facteur 4π sans rien changer :

$$F_e = \frac{4\pi \cdot m_e \cdot r_e}{4\pi \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} \quad (16)$$

Nous savons que la charge de l'électron q_{e-} (ou q_e) et de l'antiproton q_{p-} est :

$$q_{e-} = q_{p-} = -\sqrt{\frac{4\pi \cdot m_e \cdot r_e}{\mu_0}} \quad (17)$$

Selon le CODATA 2010 [2], la valeur de la charge de l'électron est $q_e \approx -1,602176565(35) \times 10^{-19}$ C

Quant à elle, la charge du proton q_p et du positron q_{e+} donne :

$$q_{p+} = q_{e+} = \sqrt{\frac{4\pi \cdot m_e \cdot r_e}{\mu_0}} \quad (18)$$

En analysant ces deux dernières équations de plus près, et sans aller trop en détails, il semble qu'une charge électrique soit en fait une masse en rotation. Pourquoi lui attribue-t-on une caractéristique de charge électrique? Qu'est-ce qui fait la différence entre une particule de charge positive et négative? Ça ne peut pas être qu'une simple rotation. Imaginez un disque qui tourne en sens horaire. En regardant le même disque par l'arrière, il tournera en sens antihoraire. Par conséquent, il est impossible de caractériser une charge par son simple sens de rotation. Il faut donc une deuxième caractéristique : son sens de déplacement. En alliant rotation et sens de déplacement, nous obtenons deux charges de sens contraire.

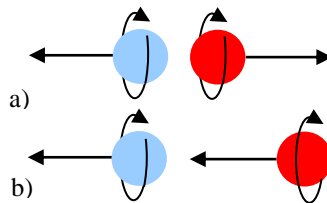


Figure 2) Visualisation de charges contraires.

a) Le sens de rotation est le même, mais le sens de déplacement est inversé.

b) Le sens de déplacement est le même, mais le sens de rotation est inversé.

Si nous utilisons l'équation (17) dans l'équation (16), nous obtenons :

$$F_e = \frac{q_e^2}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} \quad (19)$$

Cette équation est bien connue et représente la force de répulsion électrostatique entre deux électrons de charge q_e . Bien sûr, nous étions partis d'un cas particulier où deux particules de même charge sont en présence l'une de l'autre. Si nous généralisons cette équation pour deux charges quelconque q_1 et q_2 , nous obtenons l'équation suivante :

$$F_e = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} \quad (20)$$

Par convention, lorsque la force F_e est positive, elle est répulsive. Lorsqu'elle est négative, elle est attractive.

Attention, cette équation n'est pas relativiste. Elle représente simplement le cas où nous mesurons la force entre deux charges statiques. Rappelons cependant que les forces n'existent pas et que nous utilisons ce concept seulement parce qu'il est pratique et plus naturel à nos yeux. Cependant, nous savons maintenant qu'il est le résultat d'une moyenne statistique d'une multitude d'impacts entre photons et particules qui créent une pression de radiation thermodynamique.

4. CONCLUSION

Comme notre modèle mène à l'équation de force électrostatique régissant deux particules chargées électriquement, nous concluons qu'il peut être utilisé d'un point de vue pédagogique pour mieux comprendre ce phénomène. Notre modèle a le mérite d'être une explication simple à comprendre et à exprimer de manière mathématique.

Les équations de l'électricité classique ne cherchent pas à donner aucune explication sur la cause profonde de la force électrostatique. Elle ne dit pas comment les charges font pour s'attirer ou se repousser. Elle ne fait que quantifier le phénomène.

Nous sommes convaincus qu'il sera possible, dans un proche avenir, d'expliquer les autres grandes forces régissant l'univers en utilisant le même concept de pression de radiation thermodynamique.

5. RÉFÉRENCES

- [1] Einstein, Albert, "La relativité", *Petite Bibliothèque Payot*, v. 25, Paris, édition originale de 1956 de Gauthier-Villar reprise intégralement par les éditions Payot & Rivages pour l'édition de 2001, p. 109.
- [2] "Latest (2010) Values of the Constants", NIST Standard Reference Database 121, dernière mise à jour : avril 2012, article Internet à : <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>
- [3] Mercier, Claude, "Calculs et interprétation des différentes unités de Planck", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 12 octobre 2014, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/
- [4] Mercier, Claude, "Calcul du rayon de courbure apparent de l'univers", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 9 juin 2013, article disponible sur Internet à : www.pragtec.com/physique/