

Force électromagnétique

Théories électromagnétique et électrodynamique quantique (QED)

Le domaine de l'*électricité* est celui des charges électriques ponctuelles, positives ou négatives, statiques ou en mouvement. Celui du *magnétisme* concerne les aimants et le *champ magnétique* qui les entoure. Ces deux domaines ont été unifiés au XIX^e siècle, ce qui a donné naissance à la *théorie électromagnétique*.

L'*électrodynamique quantique* (QED) est venue compléter cette théorie, dans le but de rendre compte dans un même formalisme des aspects *ondulatoires* et *corpusculaires* des phénomènes électriques et magnétiques.

Le problème qui nous est posé est donc d'examiner comment, à partir des principes géométriques de la théorie NR, poser un regard nouveau sur ces différentes théories de l'électromagnétisme, en revisitant les concepts de base :

1. *Charge électrique élémentaire e*
2. *Champ électrique et champ magnétique*
3. *Vitesse de la lumière, ondes électromagnétiques et photons*
4. *Constante de structure fine électromagnétique α*
5. *Rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène a_0*
6. *Interprétation des constantes fondamentales de la physique*
7. *Conclusions sur la nature de l'électromagnétisme en théorie NR*

Charge électrique élémentaire e

Cinq phases de l'espace ont été définies avec l'élaboration du tracé régulateur de la théorie NR et les écarts sont illustrés par la figure 2.2 page 28 sous la forme d'angles plans. C'est en réalité des angles solides qu'il nous faut considérer. L'écart entre l'angle solide de l'espace positif et celui de l'espace neutralisé est par définition égal à celui entre l'angle solide de l'espace négatif et celui de l'espace neutralisé. C'est donc cet écart que nous allons identifier comme étant à l'origine de la *charge électrique élémentaire e* . Quant au faible écart entre l'angle solide de l'espace neutralisé et celui de l'espace neutre, nous l'associeront à la notion de *charge faible élémentaire* que nous noterons ν (nu).

FORCES

Le tableau suivant reprend les calculs de géométrie sphérique qui ont permis d'obtenir les angles plans visibles sur la figure 2.2 de la page 28 :

Tab. 8.2 : Calcul des angles solides des phases de l'espace et des charges élémentaires

Calcul des angles des phases de l'espace et des charges élémentaires					
n°	Intitulé	Symb.	Formule	Valeur	U (SI)
1	Rayon de la sphère de contact	R	$R = 1$	1,00000000	1
2	Angle du triangle sphérique	a	$a = \arccos \frac{(\cos \frac{\pi}{3})(1 - \cos \frac{\pi}{3})}{(\sin \frac{\pi}{3})^2}$	1,23095942	rad
3	Hauteur de la calotte sphérique	H	$H = R - (R \cos \frac{\pi}{6})$	0,13397460	1
4	Aire de la calotte sphérique	A●	$A \bullet = \frac{\pi}{4} (R^2 + 4H^2)$	0,84178721	1
5	Aire du triangle sphérique	A▲	$A \blacktriangle = R^2 (3a - \pi)$	0,55128560	1
6	Aire du tricorne sphérique	A▲	$A \blacktriangle = A \blacktriangle - \left(\frac{A \bullet}{2} \right)$	0,13039199	1
7	Surface sphère de contact euclidienne	S _E	$S_E = 4 \cdot \pi R^2$	12,56637061	sr
8	Surface de la sphère de contact positive	S ₊	$S_+ = 74 A \blacktriangle$	13,23085436	sr
9	Surface de la sphère de contact négative	S ₋	$S_- = 22 A \blacktriangle$	12,12828317	sr
10	Surface de la sphère de contact neutralisée (Moy. Arithmétique)	S ₀	$S_0 = 23 A \blacktriangle$	12,67956876	sr
11	Surface de la sphère de contact neutre (dodécaédrique)	S _n	$S_n = 12 A \bullet + 10 A \blacktriangle$	12,70928640	sr
12	Angle solide associé à la charge électrique élémentaire	e	$e = \frac{S_+ - S_0}{R^2}$	0,55128560	sr
13	Angle solide associé à la charge faible élémentaire	v	$v = \frac{S_n - S_0}{R^2}$	0,02971763	sr
14	Demi-angle du cône associé à la charge électrique élémentaire	α _e	$\alpha_e = \frac{180}{\pi} \arccos \left(1 - \frac{e}{2 \cdot \pi} \right)$	24,18041667	°
15	Demi-angle du cône associé à la charge faible élémentaire	α _v	$\alpha_v = \frac{180}{\pi} \arccos \left(1 - \frac{v}{2 \cdot \pi} \right)$	5,57475943	°

Les couleurs sont celles qui ont été attribuées page 30 aux cinq phases de l'espace et transposées dans les différents tracés régulateurs représentés au chapitre 4. Onze ou douze 2-sphères de rayon unité sont donc placées autour d'une 2-sphère centrale d'égal rayon. Ces 2-sphères sont amenées en contact en modulant la densité de l'espace, ce qui se traduit par des variations de surfaces sur la sphère de contact dont le rayon est utilisé dans le tableau ci-dessus comme unité de référence.

Un angle solide de **0,55128560** stéradian est donc associé à la charge électrique élémentaire **e**, ce qui peut être visualisé comme un cône de révolution dont le demi-angle d'ouverture de la pointe mesure **24,18°**.

Est également indiquée une charge faible élémentaire **v** correspondant à l'écart entre la phase de l'espace neutre dodécaédrique et celle de l'espace neutralisé, dont les rapports en longueur, surface, volume et hypervolume figurent en dernières lignes des tableaux 2.1 à 2.4 page 29. Son angle solide associé est de **0,02971763** stéradian et le demi-angle d'ouverture du cône de révolution correspondant est de **5,57°**. L'utilité de cette charge faible élémentaire **v** sera explicitée plus loin dans l'exposé.

THÉORIE NR

Concernant la charge électrique élémentaire e , selon les théories physiques en vigueur, l'équation suivante donne sa valeur en fonction de quatre autres constantes fondamentales :

$$e = \sqrt{\frac{2 h \alpha}{\mu_0 c}} \quad (8.3) \quad \text{Dimensions (SI) : } \left(\frac{(M L^2 T^{-1}) (1)}{(M L T^{-2} T^{-2}) (L T^{-1})} \right)^{\frac{1}{2}} = T I$$

e = Charge élémentaire électromagnétique
 h = Constante de Planck (action)
 α = Constante de structure fine électromagnétique
 μ_0 = Perméabilité magnétique du vide
 c = Vitesse de la lumière dans le vide

Mais cette charge électrique élémentaire e est maintenant identifiée en théorie NR à un angle solide dont la valeur s'exprime en stéradian, unité sans dimension¹.

Le point 1 de la page 15 du chapitre 1 annonçait par avance que la constante de Planck h serait remplacée par la formule $\mu_\infty c$, produit de la vitesse de la lumière c par la *perméabilité gravitationnelle du vide* μ_∞ , constante de substitution propre à la théorie NR. Ceci permet une réécriture de l'équation 8.3 sous la forme suivante², dont l'interprétation sera discutée ultérieurement avec le calcul de la constante de structure fine électromagnétique α :

$$e = \sqrt{2 \alpha \frac{\mu_\infty}{\mu_0}} \quad (8.4) \quad \text{Dimensions (TNR) : } \left((L^4 L^{-4}) \left(\frac{L^2 T^{-1}}{L^2 T^{-1}} \right)^{\frac{1}{2}} \right) = L^2 L^{-2}$$

e = Charge élémentaire électromagnétique
 α = Constante de structure fine électromagnétique
 μ_∞ = Perméabilité gravitationnelle du vide
 μ_0 = Perméabilité magnétique du vide

Une dernière observation, à caractère *numérogique*, pour aller au bout de l'interprétation du concept de charge électrique élémentaire e en théorie NR.

-
- 1 Le stéradian (**sr**) est une unité dérivée du mètre (**m**). En unités de base, l'équation aux dimensions est $sr = L^2 L^{-2}$. C'est au final un rapport de deux surfaces, ce qui nous donne une unité *en apparence* sans dimension.
 - 2 A noter la disparition de la constante c , vitesse de la lumière dans le vide.

FORCES

L'angle solide de **0,55128560** stéradian qui lui a été associé est donné par la ligne 12 du tableau 8.2. Les connaisseurs de la géométrie euclidienne pourront reconnaître cette valeur qui n'est autre que celle de l'angle solide **a** correspondant à celui de *la face triangulaire d'un tétraèdre régulier vue depuis le sommet opposé*, donnée par l'équation suivante :

$$a = \arccos \frac{23}{27} \quad (8.5)$$

Les amateurs de numérologie apprécieront la beauté et la simplicité de la formule. Effectivement, **23** est un nombre premier et on le trouve associé dans le tableau 8.2 au calcul de la phase neutralisée de l'espace, à mi-chemin entre les phases négative et positive qui utilisent respectivement les facteurs **22** et **24**. Quant au facteur **27**, il peut s'écrire **3³** et il est caractéristique de l'opération topologique de double enveloppement envisagée au chapitre 3 page 41 pour décrire l'apparition des particules de matière, pourvues d'une triple peau dans un espace fractal doté du facteur d'échelle **3**.

Au final, la charge électrique élémentaire peut s'interpréter comme l'aboutissement de la transformation de l'entier espace euclidien à trois dimensions spatiales — l'angle solide associé valant **4 π** soit **12,56637061** stéradians, situation caractéristique d'une nappe plane de boson de X — en une portion d'espace réduite par la première opération topologique d'enveloppement, aboutissant à la création de l'électron et correspondant à l'angle solide au sommet d'un tétraèdre régulier. Cette opération transforme donc l'espace environnant en un espace en phase neutralisée dont l'angle solide associé vaut **12,67956876** stéradians¹.

La différence entre les angles solides associés respectivement à l'espace euclidien et à l'espace neutralisé n'est au final que la résorption de la *frustration géométrique* obtenue par une contraction de l'espace, due au fait qu'on ne peut pas rigoureusement paver l'espace euclidien usuel à trois dimensions spatiales avec des tétraèdres réguliers.

1 Une métaphore assez triviale de cette transformation topologique est d'imaginer qu'en retournant une chaussette sur elle-même, vous entraînez l'espace extérieur, lequel se retrouve à l'intérieur en fin d'opération.

THÉORIE NR

Ainsi, en guise de conclusion sur ce problème fondamental de l'origine des charges électriques, tout comme ce sont les erreurs de réplication du code génétique qui permettent l'évolution des êtres vivants, c'est cette imperfection de la géométrie euclidienne en trois dimensions spatiales, baptisée *frustration géométrique*, qui est à l'origine de la variété des particules de matière telles qu'elles ont été décrites au chapitre 3 en suivant les principes de la théorie NR.

Champ électrique et champ magnétique

La théorie électromagnétique actuelle considère que les aimants constituent la source du champ magnétique et que ceux-ci sont obligatoirement dipolaires. En 1931, le physicien Paul Dirac estima nécessaire l'existence de *monopôles magnétiques*, sans lesquels disait-il la symétrie entre le magnétisme et l'électricité n'est pas assurée.

En théorie NR, les quarks sont considérés comme des monopôles magnétiques à partir d'une certaine proximité. En effet, en raison de leur caractère triphasé, à très courte distance — et en prenant pour intervalle de temps le tiers de la phase — leur charge électrique acquiert un caractère fractionnaire, d'où l'apparition des charges attribuées aux quarks $-1/3$ et $+2/3$. Au final, la véritable source élémentaire du champ électromagnétique est le sixième du faisceau projeté par un quark, source d'un puits de potentiel unitaire. Sur ces bases géométriques, comment définir la différence entre champ électrique et champ magnétique ?

En théorie électromagnétique, les lignes du champ électrique sont projetées radialement dans tout l'espace à partir de la charge électrique ponctuelle selon une symétrie sphérique. Quant au champ magnétique, sa source est double, constituée d'un pôle nord et d'un pôle sud, et non ponctuelle. Chaque pôle est une collection de charge positives ou négatives, qui se sont regroupées aux deux extrémités d'un aimant¹.

Le principe est le même en théorie NR pour ce qui concerne le champ électrique issu d'un monopôle, au détail près que les lignes de champ sont cantonnées dans le faisceau de projection d'un quark.

1 L'explication de cette configuration est assez mystérieuse, en particulier si on considère le cas des aimants naturels dits *permanents*. Nous reviendrons sur ce problème au chapitre 9 consacré à l'architecture de la matière.

FORCES

La géométrie de ce faisceau a été illustrée page 192 avec la figure 7.2 relative au champ magnétique du proton. Ce croquis montre que le champ magnétique projeté par le quark up d'un proton ne se diffuse pas d'une manière radiale mais autour d'une surface du type cardioïde de révolution¹, surface qui en quelque sorte protège la structure du proton, ce qui nous a permis de proposer une explication « non mystérieuse et magique » au fait que les électrons ne s'écrasent pas sur les noyaux atomiques en raison de l'attraction électromagnétique.

A noter que proton et électron se comportent tous deux comme des monopôles magnétiques, si on considère que le deuxième pôle du proton, à savoir le quark down, est en quelque sorte caché à l'intérieur du volume de la cardioïde de révolution caractéristique du faisceau de projection du quark up.

Le champ magnétique résulte ainsi selon nos principes de l'addition des angles solides associés à chaque charge électrique unitaire, ce qui crée une pente générale de l'espace autour de l'aimant entre le pôle positif et le pôle négatif. Plus on s'éloigne des sources, plus la pente locale de l'espace devient faible. Le champ magnétique peut ainsi être représenté comme des enveloppes isobares emboîtées, la pression de l'espace tenant ici le même rôle que la pression de l'air dans l'atmosphère.

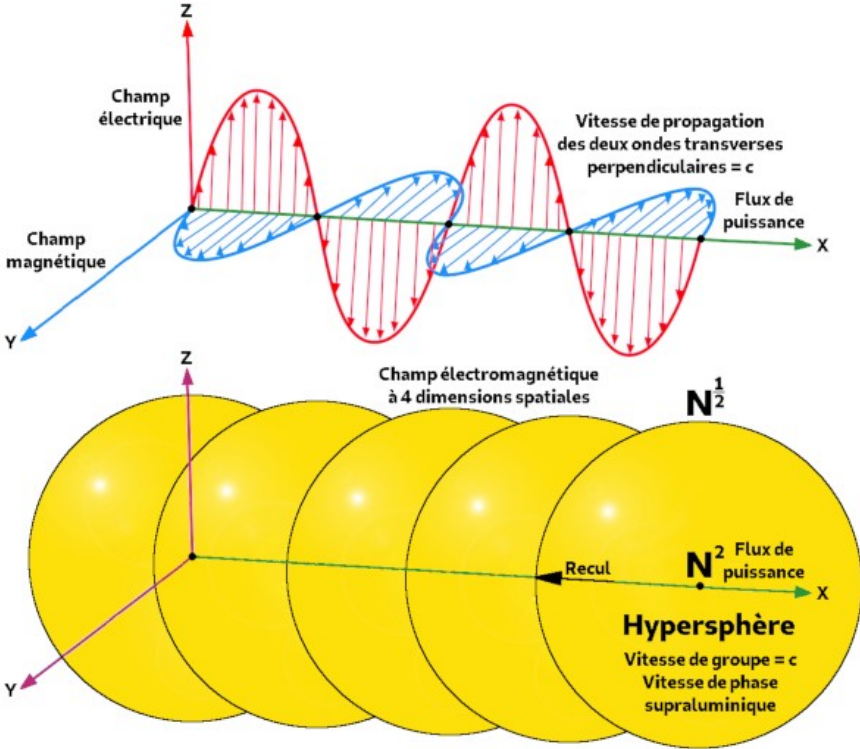
D'un point de vue géométrique, c'est maintenant avec des surfaces du type *néphroïdes de révolution* qu'il nous faut décrire la projection d'un champ magnétique issu d'une source dipolaire, ce qui n'est que la généralisation pour une configuration à sources multiples de la disposition illustrée par la figure 7.2 de la page 192 intitulée *projection du champ magnétique du proton* en ce qui concerne la relation entre le quark up de charge positive et le quark down de charge négative.

L'illustration ci-dessous nous montre deux visions du champ électromagnétique, avec en haut la représentation classique et en bas l'interprétation faite selon les principes de la géométrie euclidienne à quatre dimensions spatiales de la théorie NR :

1 Cette projection focalisée du champ électrique peut être rapprochée de celle des ondes acoustiques issues d'un haut-parleur directionnel, parfois appelé *saser*, par analogie avec les technologies *laser* et *maser* concernant respectivement les ondes lumineuses et les micro-ondes.

THÉORIE NR

Fig. 8.3 : Représentations des champs électrique et magnétique



Classiquement, les champs électrique et magnétique sont représentés par deux ondes planes à l'oscillation couplée, perpendiculaires entre elles et également perpendiculaires à la direction de propagation associée à la notion de *flux de puissance*.

La vitesse de propagation de ces deux ondes est celle de la lumière dans le vide c , ce qui ne pose pas de problème puisque la direction de propagation est perpendiculaire au plan sans épaisseur d'oscillation des deux ondes.

En bas de l'illustration, des sphères jaunes vues en perspective représente en fait un photon — défini comme groupe de bosons de X voisins dans l'espace et synchronisés dans le temps — se propageant suivant l'axe des x .

D'un point de vue mathématique, en ajoutant une quatrième dimension correspondant à la densité de l'espace, il nous faut considérer ces 2-sphères comme des 3-sphères plongées dans un espace euclidien à quatre dimensions spatiales.

FORCES

Mais rappelons que les bosons de X ne se déplacent pas, c'est l'onde électromagnétique à la géométrie d'une 3-sphère qui se déplace dans la trame de l'espace faite de bosons de X , ce qui nous permet d'échapper au paradoxe onde-particule.

D'autre part, l'utilisation d'une 3-sphère parfaite dans la représentation est une simplification. En réalité, cette 3-sphère peut être déformée, ce qui signifie qu'une onde électromagnétique transporte non seulement une énergie, mais également une forme (au détail près que cette forme peut évoluer en raison de l'expansion de l'espace). Il s'agit en quelque sorte d'une triple polarisation suivant les axes du repère $x y z$, alors que dans la représentation classique, la polarisation n'affecte que l'amplitude des deux directions perpendiculaires d'oscillation y et z des champs électrique et magnétique.

L'introduction d'une troisième polarisation dans le sens de propagation de l'onde électromagnétique implique nécessairement un dépassement de la vitesse de la lumière dans le vide c , problème qui a été solutionné en distinguant pages 57 et 58 la *vitesse de groupe* de la *vitesse de phase*.

Les sphères jaunes de la figure 8.3 correspondent ainsi à la dilatation maximale d'un photon — ce qui résulte de la composition des ondes de densité générées par chaque boson de X participant à la construction d'un photon — raison pour laquelle la norme N^z a été indiquée sur le schéma, la norme N^2 étant elle représentée par un point noir au centre de la 3-sphère.

La prise en compte de ces différents principes implique que les ondes de densité projetées par un photon se chevauchent et même reculent partiellement, puisque la vitesse de phase est très supérieure à la vitesse de groupe.

Dernier élément de complexité, il nous faut également tenir compte du caractère triphasé des ondes de densité projetées par un boson de X , ce qui nous amène à introduire la notion d'hélicité interne aux ondes électromagnétiques, hélicité que nous avons qualifiée de *gauche*, par convention, le pivotement par tiers de la phase se faisant vers la gauche en regardant dans la direction de propagation d'un photon.

THÉORIE NR

Vitesse de la lumière, longueur et temps de Planck

Les ondes électromagnétiques sont censées se déplacer dans le vide — selon les théories actuelles de la physique — à la vitesse de la lumière c . Cette vitesse est considérée dans la théorie de la relativité générale comme absolument invariante, quel que soit le référentiel ; en revanche, les notions de distance et de durée, dont le quotient est une vitesse, ne sont pas absolues. A grande vitesse, les longueurs se contractent et les durées se dilatent¹. Comment comprendre cette vitesse c au caractère aussi absolu ? D'autre part, quelle est la nature de son carré c^2 , quantité qui apparaît dans de nombreuses équations, dont la plus célèbre $\mathbf{E} = m\mathbf{c}^2$ (3.1) ?

La théorie unifiée électromagnétique élaborée par James Clerk Maxwell dans les années 1860 nous a donné les équations suivantes :

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \text{soit} \quad c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \quad (8.6 \text{ et } 8.7)$$

c = Vitesse de la lumière dans le vide
 ϵ_0 = Permittivité diélectrique du vide
 μ_0 = Perméabilité magnétique du vide

Les notions de *permittivité* et de *perméabilité magnétique* appellent quelques précisions (Source : WIKIPÉDIA) :

« De façon conceptuelle, la **permittivité** représente donc le comportement électrique du milieu. C'est, en un sens, une mesure du degré auquel le matériel est sensible au champ électrique dans lequel il se trouve. » (Eugène Hecht, *Optique*)

« La **perméabilité magnétique** caractérise la faculté d'un matériau à modifier un champ magnétique, c'est-à-dire à modifier les lignes de flux magnétique. Cette valeur dépend ainsi du milieu dans lequel il est produit où le champ magnétique varie linéairement avec l'excitation magnétique. »

Ces deux équations — datant pourtant de bien avant que n'apparaisse la notion d'*énergie du vide* — nous suggèrent que le vide n'est pas aussi vide qu'il semble l'être, et serait une sorte de « matériau », puisque les deux constantes universelles ϵ_0 et μ_0 ne sont pas nulles et lui confèrent donc des propriétés physiques :

1 Le fait que le temps « se dilate » signifie qu'il y a « moins de temps par unité de temps ». Il faut faire appel à la notion mathématique de dérivée pour tenter de comprendre cette apparente incongruité. « Moins de longueur sur moins de temps » explique ainsi la constance du quotient qui est la vitesse c .

FORCES

$$\epsilon_0 = 8,854\,187\,82 \cdot 10^{-12} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3} \text{ s}^4 \text{ A}^2$$

$$\mu_0 = 1,256\,637\,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg m s}^{-2} \text{ A}^{-2}$$

Interpréter la vitesse de la lumière c en terme de *racine carrée de l'inverse du produit de ces deux constantes* n'a rien d'évident, d'autant que les deux citations ci-dessus restent relativement obscures pour le profane.

Pages 47 et 48, dans la section du chapitre 3 consacrée au *temps en théorie NR*, nous avons associé à la norme \mathbf{N} de longueur égale à **1,00839011.10⁻¹⁷** mètres une norme \mathbf{T} de temps élémentaire valant **3,36362735.10⁻²⁶** secondes. Cette correspondance a été établie en décidant que la distance élémentaire de la norme \mathbf{N} est parcourue à la vitesse de la lumière dans le vide c , dont la valeur mesurée expérimentalement est de **299 792 458** mètres/seconde. Quant à la valeur c^2 , elle semble *a priori* encore plus mystérieuse, la notion de carré d'une vitesse n'étant guère intuitive, quoique nous ayons émis l'idée page 52, dans la section du chapitre 3 consacrée au *temps en théorie NR*, que cette gigantesque constante pourrait être le résultat du confinement de deux dimensions à l'intérieur des particules¹, dans un espace en expansion décrit au moyen d'un repère euclidien à trois vitesses.

Il est temps maintenant d'aller au-delà de ces quelques observations et de proposer suivant les principes de la théorie NR une interprétation de ces deux constantes c et c^2 . Commençons par examiner les deux équations établies par les physiciens théoriciens donnant la longueur et le temps de Planck, à partir des trois constantes fondamentales de la physique que sont \hbar , \mathbf{G} et c :

$$L_p = \sqrt{\frac{\hbar \mathbf{G}}{c^3}} \quad \text{et} \quad T_p = \sqrt{\frac{\hbar \mathbf{G}}{c^5}} \quad (8.8 \text{ et } 8.9)$$

En matière d'interprétation du sens physique d'équations, on atteint ici un sommet, les *racines carrées du cube ou de la puissance cinquième de la vitesse de la lumière* étant des notions relevant certainement de la plus pure métaphysique.

1 Dans la liste des unités dérivées du système international (SI) on trouve la notion de *dose absorbée* — dont l'unité est le *Gray* (Gy) et l'équation aux dimensions $L^2 T^{-2}$ tout comme la constante c^2 . Cette notion est utilisée dans le domaine de la *radioprotection*, lutte contre les rayonnement ionisants.

THÉORIE NR

Voyons plus loin...Trois opérations de substitution sont à envisager :

1. La *constante de Dirac* \hbar , dite *constante de Planck réduite*, sera remplacée par son équivalent $\hbar/2\pi$, où h est la constante de Planck.
2. Comme annoncé page 15 avec l'exposition des *principes*, la constante de Planck h sera remplacée par la formule $\mu_{\infty} \cdot c$ produit de la vitesse de la lumière c par la *perméabilité gravitationnelle du vide* μ_{∞} , constante de substitution propre à la théorie NR dont la valeur est la suivante : $\mu_{\infty} = h \cdot c^{-1} = 2,21021909 \cdot 10^{-42} \text{ m.kg}$.
3. La constante gravitationnelle G sera elle remplacée par la formule $\mu_0 \alpha^2$, produit de la *perméabilité magnétique du vide* par le carré de la *constante de structure fine électromagnétique*. En anticipant sur la section à venir consacrée à la force gravitationnelle, nous associerons à cette formule le symbole G_0 , ce qui signifie que cette constante sera caractéristique du champ gravitationnel élémentaire produit par un atome d'hydrogène.

La valeur de la constante $G_0 = \mu_0 \alpha^2$ s'établit ainsi :

Tab. 8.3 : Calcul de la constante gravitationnelle de l'atome d'hydrogène

Calcul de la constante gravitationnelle de l'atome d'hydrogène G_0 (TNR)						
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	U (SI)	D (TNR)
1	Perméabilité magnétique du vide	μ_0	Expérimentale	1,25663706E-06	m kg A ⁻² s ²	L ² T ⁻¹
2	Constante de structure fine électromagnétique	α	Expérimentale	7,29735257E-03	1	L ⁴ T ⁴
3	Constante gravitationnelle de l'hydrogène (calculée)	G_0	$G_0 = \mu_0 \alpha^2$	6,69176256E-11	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	L ² T ⁻¹
4	Constante gravitationnelle	G	Expérimentale	6,67430000E-11	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	L ² T ⁻¹
5	Différence $G - G_0$ (valeur absolue)	Δ	$ G - G_0 $	1,74625602E-13	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	L ² T ⁻¹
6	Pourcentage différence	% Δ	Δ / G	0,2609560639	%	%

Résultat 27 : Le calcul de la constante gravitationnelle de l'atome d'hydrogène G_0 nous donne une valeur dépassant de **2,61 %** celle établie expérimentalement G . Le fait que cette valeur soit supérieure est à mettre en relation avec la petitesse relative du rayon de l'atome d'hydrogène.

Après avoir effectué ces trois substitutions de constantes fondamentales, nous obtenons finalement ces deux nouvelles équations relatives à la longueur et au temps de Planck :

$$L_p = \frac{\alpha}{c} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_{\infty}}{2 \pi}} \quad \text{et} \quad T_p = \frac{\alpha}{c^2} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_{\infty}}{2 \pi}} \quad (8.10 \text{ et } 8.11)$$

FORCES

A-t-on fait des progrès en matière de possibilité d'interprétation ?

La *constante de structure fine électromagnétique* α sera l'objet d'une étude détaillée dans la prochaine section. Ce nombre pur, grandeur dite *adimensionnelle*, est aujourd'hui toujours considéré comme étant d'origine mystérieuse¹.

La vitesse de la lumière dans le vide apparaît maintenant sous les deux formes c et c^2 , ce qui est un progrès notable par rapport aux racines carrées de c^3 et c^5 . Les unités de Planck L_P et T_P ne diffèrent que par un facteur c au dénominateur, ce qui n'a rien d'étonnant puisque qu'une vitesse $V = L T^{-1}$ peut facilement s'écrire $T = L V^{-1}$.

Reste à interpréter la formule propre à la théorie NR $\sqrt{\frac{\mu_0 \mu_\infty}{2\pi}}$, dont la valeur est $6,64863759 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Pour cela, il nous faut tout d'abord unifier les deux constantes μ_0 et μ_∞ .

La constante physique μ_0 , dite de *perméabilité magnétique du vide*, possède dans le *système international d'unités* la dimension (SI) $M L T^{-2} I^{-2}$. Ce résultat d'analyse dimensionnelle peut être converti selon les principes de la théorie NR en employant deux simplifications :

1. Le terme de masse M sera remplacé par celui d'une vitesse $L \cdot T^{-1}$, suivant la convention que nous avons proposée page 50, dans la section du chapitre 3 consacrée au *temps en théorie NR*.
2. Au terme du système international d'unité d'*intensité électrique I* (SI), nous substituerons la dimension inverse du temps T^{-1} . En effet, nous sommes convenus dans l'antépénultième section d'interpréter la charge électrique élémentaire en terme d'angle solide, dont l'unité le stéradian est sans dimension.

1 A ce propos, citons le célèbre physicien théoricien quantique du milieu du XX^e siècle Richard Feynman (1918-1988) :

La première chose que l'on voudrait savoir, c'est quelle est l'origine de ce nombre de couplage : est-il relié à π , ou peut-être la base des logarithmes naturels ? Personne ne le sait. C'est **l'un des plus grands mystères de la physique : un nombre magique** donné à l'homme sans qu'il y comprenne quoi que ce soit. On pourrait dire que « la main de Dieu » a tracé ce nombre, et que « l'on ignore ce qui a fait courir Sa plume ». On connaît le rituel expérimental auquel il faut procéder dans un ordinateur pour mesurer ce nombre, mais on ne sait pas quel programme il faut mettre dans cet ordinateur pour en faire sortir ce nombre, à moins de l'avoir introduit subrepticement.

THÉORIE NR

Or, le *coulomb* **C**, unité dérivée du système international de charge électrique, possède la dimension **T I**, puisque par définition il est le produit **A.s** de l'ampère et de la seconde. On en déduit que si **C** est sans dimension, **A** doit nécessairement être exprimé en terme d'inverse du temps **T⁻¹**. Comme indiqué préalablement page 187 et 188, ceci n'a rien de contre-intuitif puisque l'intensité électrique passant par la section d'un fil électrique, donc le nombre d'électrons, peut très bien se comprendre comme un *taux de cisaillement*, précisément de dimension **T⁻¹**.

De ces deux conventions il résulte que la constante μ_0 possède dans le système d'unités simplifié de la théorie NR la dimension (TNR) **L².T⁻¹**, ce qui correspond dans le système international d'unités (SI) à une *viscosité cinématique*, grandeur qui par définition « représente la capacité de rétention des particules d'un fluide et quantifie sa capacité à s'épancher ». Nous interpréterons cette correspondance dans la section *thermodynamique du boson de X* du chapitre 10 consacré à l'*architecture de l'univers*.

Regardons maintenant la constante μ_∞ propre à la théorie NR, substituée à la constante de Planck **h** selon la formule **h = μ_∞ c**.

La constante **h** s'exprime dans le système international d'unités en **kg.m².s⁻¹**, ce qui donne la dimension d'une action (SI) **M L²T⁻¹**. La constante **c** est une vitesse de forme **m.s⁻¹**, soit l'équation aux dimensions (SI) **L.T⁻¹**. La constante μ_∞ a donc pour dimension celle du rapport entre **h** et **c**, ce qui donne (SI) **M L**, et selon nos conventions, en remplaçant la masse par une vitesse, la dimension (TNR) **L² T⁻¹**, de nouveau une *viscosité cinématique* ce qui justifie ainsi le choix d'utiliser le même symbole *mu* pour identifier μ_0 et μ_∞ .

Au final, la formule $\sqrt{\frac{\mu_0 \mu_\infty}{2 \pi}}$ est également une viscosité cinématique, *moyenne géométrique* de deux viscosités cinématiques, divisée par $\sqrt{2\pi}$.

Pour aller plus loin, il nous faudra jeter un regard historique sur la *constante magnétique* μ_0 également appelée la *perméabilité magnétique du vide* et rechercher quel lien établir avec sa « cousine en théorie NR » μ_∞ que nous avons baptisée *perméabilité gravitationnelle du vide*. Mais il est nécessaire de commencer par un examen approfondi du « nombre magique α , grand mystère de l'Univers ». Tentons d'en débusquer l'origine, ce qui en cas de succès sera sans aucun doute un point sommital du présent projet architectural.

FORCES

Constante de structure fine électromagnétique α

La *constante de structure fine électromagnétique α* est qualifiée de *constante de couplage de la force électromagnétique*.

Selon les principes de la physique contemporaine, une constante de couplage est un nombre pur, sans dimension, reflétant l'intensité d'une interaction. A chaque type de force sa constante de couplage.

Dans le système international d'unités (SI), α est reliée aux autres constantes fondamentales de la physique par l'équation suivante :

$$\alpha = \frac{\mu_0 c e^2}{2 h} \quad (8.12)$$

Valeur : 0,007297352449¹

α = Constante de structure fine électromagnétique
 μ_0 = Perméabilité magnétique du vide
 c = Vitesse de la lumière dans le vide
 e = Charge électrique élémentaire
 h = Constante de Planck

Traduite selon les principes de la théorie NR, en substituant $\mu_\infty c$ à h , cette équation prend la forme simplifiée suivante (ce qui n'est qu'une réécriture de l'équation 8.4 donnant la charge élémentaire e) :

$$\alpha = \frac{e^2}{2} \frac{\mu_0}{\mu_\infty} \quad (8.13)$$

α = Constante de structure fine électromagnétique
 e = Charge électrique élémentaire
 μ_0 = Perméabilité magnétique du vide
 μ_∞ = Perméabilité gravitationnelle du vide (TNR)

1 Les constantes fondamentales c , e et h sont devenues *exactes par définition* suite à la redéfinition du Système international d'unités SI de 2018-2019 ; *a contrario*, la constante μ_0 , qui était exacte et même égale à l'unité dans l'ancien système d'unités CGS, se trouve maintenant affectée d'une incertitude relative de $1,2026 \cdot 10^{-10}$, ce qui génère sur le résultat de l'équation 8.12 une incertitude relative corrélée de $1,0714 \cdot 10^{-12}$ (voir commentaire détaillé pages 251 et 252).

THÉORIE NR

Deux observations peuvent être faites pour donner un sens physique à cette équation simplifiée :

1. Premièrement, on remarque que la constante α est reliée au carré de la charge élémentaire e . En théorie NR, la charge électrique élémentaire est interprétée comme un *angle solide* — ou, ce qui est équivalent, comme une surface rapportée à celle de la sphère de rayon unité — exprimé en stéradian. Mais le caractère adimensionnel de cette unité d'angle solide n'est pas strict, ainsi qu'il a été indiqué dans la note en bas de la page 238, puisque ce concept correspond en réalité au quotient de deux surfaces. Il y a donc en quelque sorte les « dimensions cachées » $L^2 L^{-2}$ dans cette notion d'angle solide. La conclusion logique de cette remarque est qu'il nous faut interpréter α — en tant que carré de e — comme un *rapport d'hypervolumes*, portion d'un *hyperspace* à quatre dimensions spatiales rapportée à l'*hypervolume* de l'entier espace, dont l'équation aux dimensions (cachées) serait de la forme $L^4 L^{-4}$.

Au final, ceci ne doit pas nous surprendre, puisque les hypervolumes ont précisément été introduits en théorie NR pour tenir compte de la zone d'influence des particules, et donc de leur projection dans l'espace que nous avons également reliée à la notion d'information. Or, historiquement, la constante α a un rapport direct avec cette notion de projection, puisqu'elle concernait initialement les mesures des raies spectrales atomiques, et donc des niveaux de ce qu'on nommait alors les *orbites électroniques* des atomes, comme l'indique cette citation¹ :

La constante de structure fine a été introduite pour la première fois en physique en 1916 par Arnold Sommerfeld. Elle mesurait les écarts relativistes entre les raies spectrales atomiques d'après les prédictions du modèle de Bohr.

Par analogie avec les *angles plans* mesurés en *radian*, portion de la circonférence d'un cercle (1-sphère), et les *angles solides* mesurés en *stéradian*, portion de la surface d'une sphère (2-sphère), nous pourrions considérer la constante α comme un *angle hypersolide*, rapport d'*hypervolumes* aux dimensions cachées $L^4 L^{-4}$, mesuré en *hyperradian*, portion d'une 4-sphère plongée dans un espace euclidien à cinq dimensions spatiales.

1 Voir WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Constante_de_structure_fine

FORCES

2. Deuxièmement, une interprétation physique classique de la nature de la constante α est la suivante¹:

Pour toute longueur λ arbitraire, la constante de structure fine est le quotient de deux énergies : (i) l'énergie requise pour rapprocher deux particules de charge élémentaire e situées à l'infini, à une distance s contre les forces de répulsion électrostatique, et (ii) l'énergie d'un seul photon dont la longueur d'onde est égale à 2π fois la longueur s (autrement dit $2\pi s = \lambda = c/v$ où v est la fréquence de la radiation associée au photon).

Cette idée d'effectuer mentalement un rapprochement de deux particules élémentaires situées à l'infini est à relier aux deux constantes μ_0 et μ_∞ que nous avons unifiées sous la forme de deux viscosités cinématiques. Quelques observations complémentaires sur la nature de ces deux constantes :

1. Comme annoncé page 248, il importe de regarder d'un point de vue historique les caractéristiques de la première constante μ_0 dite *constante magnétique*, également dénommée *perméabilité magnétique du vide*, apparue au XIX^e siècle avec le développement la partie de la théorie électromagnétique nommée *magnétostatique*, relative à l'étude du champ magnétique lorsque celui-ci est indépendant du temps, c'est-à-dire lorsque les sources du champ sont fixes. Cette théorie utilisait initialement les *unités gaussiennes*, ultérieurement rattachées au *système d'unités CGS (centimètre gramme seconde)* proposé par la *British Association for the Advancement of Science* en 1874.

Dans ce système d'unités, les constantes magnétique et électrique μ_0 et ϵ_0 n'existaient pas, leurs valeurs étant égales à l'*unité* ainsi que le montre le tableau suivant extrait de l'article WIKIPÉDIA consacré aux unités gaussiennes et à leur conversion en unités du *système international d'unités (SI)* actuellement en vigueur. A noter la présence en première ligne du tableau de la notion d'*impédance caractéristique du vide*, l'*impédance* mesurant l'opposition d'un circuit électrique au passage d'un courant alternatif sinusoïdal, ce circuit étant en l'occurrence le vide dans le cas de la constante Z_0 .

1 Ibid : https://fr.wikipedia.org/wiki/Constante_de_structure_fine

THÉORIE NR

Tab. 8.4 : Conversion des unités gaussiennes en unités SI

Nom	Quantités gaussiennes	Quantités ISQ
Impédance caractéristique du vide	$Z_0^G = \frac{4\pi}{c}$	$Z_0^{ISQ} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$
Constante électrique	$1 = \frac{4\pi}{Z_0^G c}$	$\epsilon_0 = \frac{1}{Z_0^{ISQ} c}$
Constante magnétique	$1 = \frac{Z_0^G c}{4\pi}$	$\mu_0 = \frac{Z_0^{ISQ}}{c}$

Ce passage des quantités gaussiennes aux quantités ISQ (SI) a ainsi donné à la constante magnétique μ_0 la nouvelle valeur, initialement fixée *par définition*¹, de $4\pi \times 10^{-7} \text{ kg m s}^{-2} \text{ A}^{-2}$.

- La seconde constante μ_∞ baptisée par analogie *perméabilité gravitationnelle du vide* a été examinée page 248 en l’associant de fait à la force gravitationnelle, ce qui sera justifié ci-après dans la section consacrée à cette force fondamentale de la physique. L’équation 8.13 page 249 donnant la formulation selon les principes de la théorie NR de la constante de structure fine électromagnétique α peut être réécrite sous une forme reliant la perméabilité gravitationnelle du vide μ_∞ aux trois constantes α , e et μ_0 :

$$\mu_\infty = \frac{e^2}{2\alpha} \mu_0 \quad (8.14)$$

Il apparaît ainsi au final que les deux constantes μ_0 et μ_∞ associées en théorie NR à des viscosités cinématiques ont entre elles un rapport de nature purement géométrique, les constantes e^2 et α étant dans cette optique associées à des *angles hypersolides*.

1 L’article WIKIPÉDIA consacré à la perméabilité magnétique du vide indique à propos de la constante magnétique μ_0 :

« La valeur donnée était exacte par définition de l’ampère, mais ne l’est plus depuis la redéfinition des unités du système international, le 20 mai 2019, la définition de l’ampère étant dorénavant liée à la définition de la charge élémentaire e qui a été choisie comme exacte, alors que la définition antérieure approuvée au Congrès Général des Poids et Mesures de 1948 fixait la perméabilité du vide ».

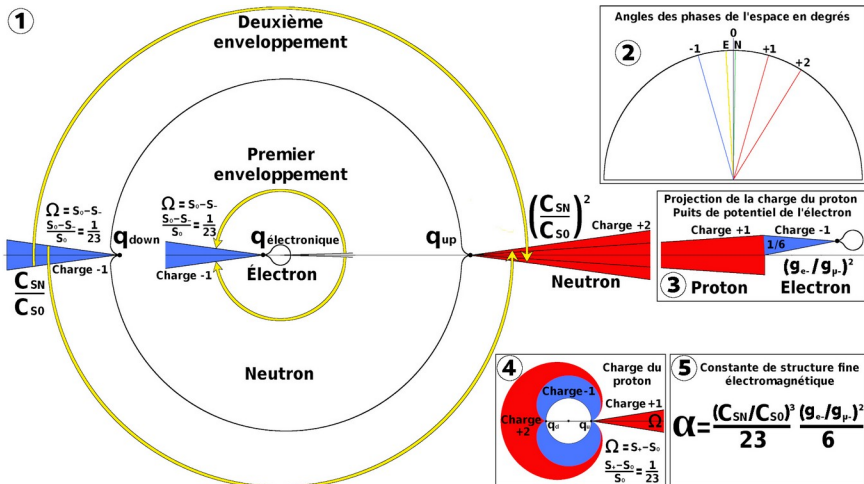
Ceci étant, l’écart entre l’ancienne et la nouvelle valeur n’apparaît qu’à partir de la huitième décimale du facteur 4π , ce qui est donc sans incidence sur notre propos. D’autre part, du point de vue de la théorie NR, il est fort judicieux que ce soit la charge élémentaire e qui soit maintenant considérée comme exacte, puisque nous l’avons identifiée page 181 à l’*angle solide correspondant à celui de la face triangulaire d’un tétraèdre régulier vue depuis le sommet opposé*, objet mathématique euclidien parfaitement défini.

FORCES

3. Disons simplement que μ_0 et μ_∞ semblent se situer aux deux extrémités de l'univers de la théorie NR, sachant que comme il a été précédemment indiqué, les notions de zéro et d'infini étant exclues par principe, les indices 0 et ∞ doivent se comprendre comme représentant respectivement un minimum et un maximum.
4. Le rapport entre ces deux constantes correspondrait donc à l'évolution de la *viscosité cinématique* de l'espace entre les sources de l'électromagnétisme — qui sont le quark électronique pour l'électron et le quark up pour le proton — et la source ultime de la gravitation qui serait l'univers entier, de taille fixe selon le principe adopté en théorie NR de l'espace fractal en expansion convergente.
5. On retrouve ainsi sous une forme nouvelle l'interprétation précitée de la constante α en physique officielle, sous la forme du rapprochement de deux particules élémentaires situées à l'infini. Tout ceci sera précisé avec l'étude à venir de la force gravitationnelle.

Munis de ces différentes observations, venons en au calcul de la constante de couplage de la force électromagnétique α . Commençons par examiner plus en détail grâce à la figure 8.4 ci-dessous ce que nous avons baptisé *processus topologique de double enveloppement*, censé en théorie NR être à l'origine de la genèse des particules de matière, non pas à l'issue d'un hypothétique Big Bang, mais d'une manière continue au cœur des quasars par création et destruction simultanées de l'espace et de la matière :

Fig. 8.4 : Description du processus topologique de double enveloppement



THÉORIE NR

Les éléments d'analyse sont les suivants :

1. Cette figure est « d'apparence euclidienne », mais en réalité elle décrit un espace courbe en *phase neutralisée*, raison pour laquelle c'est cet axe $\mathbf{0}$ qui sert de référence dans l'encadré ② en haut à droite, et non l'axe euclidien \mathbf{E} comme cela était le cas avec la figure 2.2 de la page 28. En conséquence, l'axe horizontal de la partie principale du schéma ① correspond à cet espace neutralisé, ce qui permet de décrire d'une façon symétrique les phases de l'espace *négative* en bleu et *positive* en rouge.
2. Le schéma principal ① décrit au centre le premier processus topologique d'enveloppement aboutissant à la création d'un électron. Les deux flèches jaunes circulaires ne partent pas de l'axe horizontal, mais d'axes légèrement décalés associés à la *phase euclidienne* de l'espace dotée d'une courbure légèrement négative, ce qui correspond à une structure de l'espace faite de nappes planes de bosons de X , conformément aux principes exposés pages 41 à 45 décrivant le processus topologique d'enveloppement. D'autre part, ces deux flèches n'aboutissent pas non plus sur l'axe horizontal, mais s'arrêtent avant en délimitant un angle solide caractéristique de la *phase négative* de l'espace. Cet angle solide est donné par la formule $\Omega = \mathbf{S}_0 - \mathbf{S}$ (voir Tab. 2.2 page 29) et sa valeur est **0,551285984** stéradian, ici transcrite en degrés afin de s'adapter au caractère plan de la description. On remarque que cette valeur de Ω rapportée à celle de l'angle solide de l'entier espace neutralisé \mathbf{S}_0 est **1/23**.
3. La partie externe du schéma principal ① décrit le deuxième processus de double enveloppement, celui qui aboutit à la genèse d'un neutron en prolongement de celle d'un électron. Mais ce nouvel enveloppement se déroule maintenant en sens inverse, ce qui permet de compenser les charges négatives **-1** de l'électron et du quark down (voir Fig 6.14 et le phénomène de mitose du quark électronique page 143). Cette compensation implique donc la création d'un quark up de charge **+2**, ainsi qu'il est indiqué sur la droite du schéma principal. Par ailleurs, le rapport $\mathbf{C}_{\text{SN}}/\mathbf{C}_{\text{S0}}$, caractéristique de l'*effet de pointe inverse*¹, est associé en premier lieu à l'effacement de la charge négative du quark down puis deux fois successivement à la création du quark up.

1 *Effet de pointe inverse* car il s'agit ici d'évaluer la *densité surfacique* au niveau du quark up lui-même, et non en surface du proton (section efficace) comme dans les calculs de masses-énergies des diverses particules ($\mathbf{C}_{\text{S0}}/\mathbf{C}_{\text{SN}}$).

FORCES

4. L'encadré de gauche ④ en bas de la figure 8.4 nous permet de comprendre pourquoi — malgré le caractère strict de la géométrie des fermions décrits selon les principes de la théorie NR, très éloigné de l'image de la mer de quarks et de gluons chère à de nombreux physiciens (voir Fig 7.8 et Fig 7.9 page 204) — la projection de la charge négative du quark down du proton arrive tout de même à effacer la moitié de la double charge positive du quark up, en raison de la nature des faisceaux de projection basée sur des surfaces de types cardioïde et néphroïde de révolution (voir Fig 7.2 page 192 *Projection du champ magnétique du proton*).
5. L'encadré central ③ sur la droite de la figure 8.4 illustre le fait qu'un électron pris dans le faisceau de projection du quark up d'un proton n'est piégé que dans un sixième de ce faisceau, en raison de la structure hexagonale des quarks (voir Fig 6.10 page 131).

En guise de conclusion, l'encadré ⑤ en bas à droite de la figure 8.4 nous propose une équation donnant la valeur estimée de la constante de structure fine électromagnétique α , définie en application des cinq principes qui viennent d'être exposés.

Notons que comme dans le domaine de la gravitation — basé sur la théorie de la relativité générale exposée par Albert Einstein en 1915, où le vecteur force peut être regardé comme l'inverse du rayon de courbure de l'espace correspondant — la constante α qui est définie par les physiciens comme la valeur intrinsèque de la force électromagnétique — d'où sa qualification de *constante de couplage* — se trouve être l'inverse du produit figurant au dénominateur de l'équation, ce produit représentant ainsi d'une certaine manière le rayon de projection de la force électromagnétique, dans le cas le plus simple qui est celui de l'atome d'hydrogène considéré dans son état fondamental de plus basse énergie.

Cette projection résulte tout d'abord de l'application au dénominateur du facteur **23** qui est la valeur du pincement de l'espace aboutissant à l'apparition de la charge électrique élémentaire **e**, dans ses deux versions négative et positive, associées à l'angle solide Ω . Dans ce schéma de confrontation d'un espace positif généré par le quark up du proton et d'un espace négatif issu de l'électron piégé dans le puits de potentiel, ce facteur **23** peut être considéré comme la moyenne arithmétique $(22+24) / 2 = 23$.

THÉORIE NR

L'application du coefficient $(C_{SN}/C_{SO})^3$ s'effectue en raison de l'*effet de pointe (inverse)*, lié à la « pression » exercée par l'espace neutre sur l'espace neutralisé. Cet effet a été métaphoriquement comparé au nœud que l'on fait pour fermer un ballon festif après gonflage, ce qui augmente sa surface et fait donc légèrement baisser sa *densité surfacique*.

Le facteur **6** rétrécit une deuxième fois l'angle solide de projection de la charge du quark up du proton, en raison de sa structure hexagonale (voir page 132 Fig.6.11 Flux des ondes de densité et phases des quarks).

Le choix de prendre dans la figure 8.4 l'espace neutralisé pour axe de référence des deux processus d'enveloppement nous impose de regarder toutes les droites apparaissant dans ces schémas comme des *géodésiques* d'un espace courbe. Or, l'étude de la genèse des quarks nous a montré que l'inscription des différents quarks dans un cône de révolution euclidien n'est pas pertinent, et que ce sont des puits de cardioïdes ou de néphroïdes de révolution qui se sont montrés les plus aptes à décrire cette évolution fractale. C'est pourquoi, après avoir appliqué une correction de courbure $(C_{SN}/C_{SO})^3$ au facteur **1/23** qui concerne la projection du quark up du proton, il nous faut rechercher une procédure équivalente applicable au quark électronique, et donc au facteur **1/6**. Le coefficient C_{SN}/C_{SO} ne convient pas puisque nous sommes maintenant dans une confrontation *espace positif / espace négatif*, et non *espace neutralisé / espace neutre*. Mais comme il s'agit d'une configuration où il existe un très grand écart métrique entre un proton et un l'électron, au regard de la taille d'un noyau atomique, l'usage d'un coefficient du type C_{s-}/C_{s-} qui agirait en surface des particules n'aurait aucune pertinence. D'autre part, une approche purement algébrique de la courbure du puits de potentiel inverse généré par l'électron présente de grandes difficultés mathématiques. Il est toutefois possible d'approcher le coefficient recherché en « puisant » dans les données expérimentales que nous procurent les physiciens. En effet, ceux-ci recherchent l'explication de ce qu'ils appellent le *moment magnétique anomal*¹ de l'électron, résolu par une procédure complexe allant jusqu'à une correction d'ordre 4. S'agissant du *muon*, cousin lourd de l'électron, le problème n'a pas encore trouvé de solution, sachant que son *moment magnétique anomal* diffère très légèrement de celui de l'électron. C'est cette différence que nous allons exploiter pour définir notre coefficient.

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Moment_magnétique_anomal

FORCES

L'idée est de se servir des *facteurs de Landé* de l'électron et du muon — objets voisins dans le développement fractal de la géométrie de ces particules en théorie NR — qui présentent une légère différence au-delà de la quatrième décimale, ce qui est conforme à l'idée que ce développement fractal ne se produit pas dans un puits de potentiel conique, que l'on pourrait qualifier de *linéaire*. Or, le facteur de Landé de l'électron a été défini comme le rapport entre un vecteur polaire et un vecteur équatorial (voir sections *Approche géométrique des facteurs de Landé en théorie NR et Calcul du facteur de Landé de l'électron pages 205 à 216*). Comme c'est une correction de surface que nous recherchons, nous allons donc élever au carré le rapport entre les facteurs de Landé de l'électron et du proton (g_e / g_{μ}) et supposer que nous obtiendrons ainsi une bonne approche du coefficient de correction de courbure espéré.

La théorie NR est ainsi apte à proposer le calcul suivant :

Tab. 8.5 : Calcul de la constante de structure fine électromagnétique α

Calcul de la constante de structure fine électromagnétique α (TNR)					
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	U (TNR)
1	Effet de pointe en surface (inverse)	C_{SH}/C_{SN}	Voir calculs tracé régulateur	0,997661738612	1
2	Facteur de Landé de l'électron	g_e	expérimental	2,002319304360	1
3	Facteur de Landé du muon	g_{μ}	expérimental	2,002331841400	1
4	Constante de structure fine électromagnétique (calculée)	$\alpha_{(C)}$	$\alpha_{(C)} = \frac{(C_{SH}/C_{SN})^2 [g_e / g_{\mu}]^2}{23 \cdot 6}$	0,007297355845	$L^{-4} \cdot L^4$
5	Constante de structure fine électromagnétique (inverse)	$\alpha^{-1}_{(C)}$	$\alpha^{-1}_{(C)} = \frac{23 \cdot 6}{(C_{SH}/C_{SN})^2 [g_e / g_{\mu}]^2}$	137,0359375710	$L^{-4} \cdot L^4$
6	Constante de structure fine électromagnétique (mesurée 2020)	$\alpha_{(M)}$	expérimentale	0,007297352563	1
7	Constante de structure fine électromagnétique (inverse)	$\alpha^{-1}_{(M)}$	expérimentale	137,0359992076	1
8	Différence $\alpha_{(M)} - \alpha_{(C)}$ (valeur absolue)	Δ	$\Delta = \alpha_{(M)} - \alpha_{(C)} $	0,00000003282	1
9	Pourcentage différence	% Δ	% $\Delta = \frac{\Delta}{\alpha_{(M)}}$	0,000044978468	%

Principes du calcul (voir détails en annexe 12 page 383) :

Ligne 1 : Rappel du coefficient TNR relatif à l'effet de pointe

Ligne 2 : Rappel du facteur de Landé de l'électron

Ligne 3 : Rappel du facteur de Landé du muon

Ligne 4 : Calcul de la constante de structure fine électromagnétique α

Ligne 5 : Calcul de la constante de structure fine inverse α^{-1}

Lignes 6 et 7 : Mesures les plus récentes de α et de α^{-1}

Lignes 7 à 9 : Comparaison de la valeur de α calculée selon l'équation de la théorie NR avec la valeur expérimentale mesurée

Résultat 28 : La valeur de la constante de structure fine électromagnétique α ainsi calculée ne diffère que d'environ **0,45 millionièmes** de la plus récente valeur établie expérimentalement, performance à relativiser puisque l'écart entre le résultat de l'équation 8.12 (QED) et cette valeur expérimentale est environ **29** fois plus faible.

THÉORIE NR

Les amateurs de numérogie pourront remarquer l'apparition du nombre **138** (**23 x 6**) aux lignes 4 et 5 du tableau 8.5, nombre qui peut se décomposer en facteurs premiers sous la forme **2 x 3 x 23**. Nouvelle apparition du nombre premier **23**, déjà signalée dans l'équation 8.5 page 239 et antérieurement page 185 en tant que nombre d'itérations permettant de relier la masse/énergie de la particule X — plus petit objet de la théorie NR, malheureusement qualifié par les physiciens du CERN de simple « fluctuation statistique » — à celle de l'univers entier ! Les physiciens curieux de l'interprétation du sens physique de la constante de couplage α ont historiquement concentré leur attention sur le nombre premier **137**¹ — ultérieurement transformé en **137,035999206** suite à l'amélioration des mesures expérimentales — la représentation de l'intensité du couplage électromagnétique étant plus intuitive en utilisant la forme inverse α^{-1} . Aucune de ces tentatives d'explications numérogiques² n'ayant abouti, la théorie NR propose donc d'accorder au nombre **138** le caractère « magique » recherché, avec sa décomposition en facteurs premiers **2**, **3** et **23**. De nouveau, la résorption de la *frustration géométrique* de l'espace euclidien vient ternir la pureté de ce nombre remarquable.

Mais quel regard porter plus précisément sur l'interprétation physique de la constante de couplage α au terme de notre analyse ? Observons les trois équations que nous avons rencontrées, celle de l'électrodynamique quantique, sa traduction selon les principes de la métrologie particulière de la théorie NR et l'équation mise en exergue en bas à droite de la figure 8.4 :

$$\alpha = \frac{\mu_0 c e^2}{2 h} \quad (8.12) \quad \alpha = \frac{e^2}{2} \frac{\mu_0}{\mu_\infty} \quad (8.13) \quad \alpha = \frac{(C_{SN}/C_{S0})^3 (g_{e-}/g_{\mu-})^2}{23 \cdot 6} \quad (8.15)$$

La première équation (8.12) n'est pas facilement explicable en langage intuitif, la nature physique de la charge électrique élémentaire **e** n'étant pas claire, pas plus que les relations entre les trois constantes μ_0 , **c** et **h**, qui sont des entités *dimensionnées* reliées au système international d'unités SI.

1 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/137_\(nombre\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/137_(nombre))

2 Voir dans cet article WIKIPÉDIA le paragraphe *explications numérogiques* : https://fr.wikipedia.org/wiki/Constante_de_structure_fine

FORCES

Quant à l'équation (8.13), transcription en langage TNR de la précédente, elle se base sur une charge électrique élémentaire e considérée comme un *angle solide*, qui élevé au carré donne à la constante α le caractère d'un *angle hypersolide*.

Ces deux concepts angulaires peuvent être considérés comme des nombres purs *adimensionnels*, bien que nous ayons plusieurs fois signalé l'existence de « dimensions cachées », si on leur attache les équations aux dimensions $L^2 L^{-2}$ et $L^4 L^{-4}$. Le rapport μ_0/μ_∞ représente l'évolution de la *viscosité cinématique* de l'espace — notion traduite en théorie NR comme étant la capacité d'une surface à s'épancher, avec pour équation aux dimensions $L^2 T^{-1}$, soit une surface divisée par un temps — entre la surface d'un proton et celle d'un électron positionné en son point antipodal de l'espace hypersphérique, espace purement théorique vide de toute matière en dehors des deux particules considérées. C'est donc ce rapport adimensionnel — puisque les deux constantes sont de même nature — qui représente la projection dans l'espace des deux charges électriques élémentaires en interaction et qui subséquentment donne à la constante de couplage α sa nature d'angle hypersolide. La valeur du rapport adimensionnel μ_0/μ_∞ est **5,68557702 x 10³⁵**. Au final, la transcription de l'équation 8.12 supprime toute référence au système international d'unités SI, puisque la charge électrique élémentaire e est interprétée comme un angle solide et que le rapport μ_0/μ_∞ est par nature adimensionnel.

Cette interprétation est-elle compatible avec la troisième approche définie par l'équation 8.15? En effet, toutes les constantes fondamentales de la physique semblent avoir disparu! Ne restent que des considérations de nature purement géométrique.

Le contenu de cette équation a été décrit page 255 en conclusion de l'analyse de la figure 8.4. Par ailleurs, le problème de la *stabilité de l'atome d'hydrogène* a été abordé au chapitre 7 pages 191 à 195, et le *calcul du rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène* selon les principes géométriques de la théorie NR se fera dans la prochaine section.

Notons toutefois que la charge électrique élémentaire e apparaît indirectement dans l'équation 8.15 sous la forme **1/23**, qui est le rapport entre l'angle solide Ω qui lui est associé et celui de l'entier espace neutralisé S_0 .

THÉORIE NR

Mais pourquoi cette charge élémentaire n'apparaît-elle pas élevée au carré comme dans les équations 8.12 et 8.13 ?

L'explication est la suivante. Le rapport des viscosités cinématiques μ_0/μ_∞ nous indique que la constante de couplage α a en quelque sorte été abordée « par l'extérieur », conformément à la citation en haut de la page 251, c'est-à-dire comme *quotient des deux énergies* nécessaires pour rapprocher l'électron et le proton de l'atome d'hydrogène « depuis l'infini », sachant que dans le système simplifié d'unités de la théorie NR une *énergie* $L^3 T^{-3}$ peut être regardée comme une *viscosité cinématique* $L^2 T^{-1}$ multipliée par une *accélération* $L T^{-2}$. C'est de cette double approche que résulte l'élévation au carré de la charge électrique élémentaire e .

En revanche, l'équation 8.15 représente une approche géométrique directe de la constante de couplage α « par l'intérieur », laquelle n'est maintenant regardée que d'un seul côté, celui du proton de l'atome d'hydrogène. L'angle solide de l'entier espace neutralisé se trouve être « pincé » au terme du deuxième processus topologique d'enveloppement, et en tenant compte de la structure hexagonale du quark up, cette contraction est au final mathématiquement régie par le facteur **1/138**. Considérant l'équivalence entre un angle solide et la surface correspondante interceptée par cet angle sur la sphère de rayon unité, la densité surfacique sur la sphère de rayon unité se trouve être multipliée par le facteur **138**, et le rétablissement de la densité normale de l'espace neutralisé s'effectue par une projection de cette surface courbe de rayon **1**, ce qui nous amène à regarder de plus près la notion d'*hypervolume*, utilisée en théorie NR pour décrire les particules de matière et en particulier leur influence dans l'espace qui les entoure. Regardons tout d'abord la relation entre la surface d'une 2-sphère de rayon **R** et l'hypervolume d'une 3-sphère de même rayon :

$$\frac{H}{S} = \frac{\frac{1}{2} \pi^2 R^4}{4 \pi R^2} \Rightarrow H = S \frac{1}{8} \pi R^2 \quad (8.16)$$

D'autre part, rappelons-nous que l'espace fractal est régi par un facteur d'échelle égal à **3** en ce qui concerne les longueurs, ce qui signifie que la projection d'une surface dans cet espace est assujettie au facteur d'échelle $3^2=9$, la *densité surfacique* étant elle régie par le facteur inverse **1/9**.

FORCES

Coïncidence, l'application successive de ce facteur $1/9$, soit la suite $1/9 + 1/9^2 + 1/9^3 + 1/9^4$ (...), converge vers la valeur $0,125$ égale à $1/8$. Il y aurait donc bien une relation directe entre la notion d'*hypervolume*, la capacité de projection de la charge électrique dans l'espace fractal et la valeur de la constante couplage α de la force électromagnétique considérée comme un angle hypersolide.

Observons pour finir la double correction de courbure $(\mathbf{C}_{SN}/\mathbf{C}_{SO})^3$ et $(\mathbf{g}_e/\mathbf{g}_\mu)^2$ opérée dans l'équation 8.15 de la théorie NR.

La combinaison de ces deux facteurs peut s'interpréter comme une action globale « *hypervolumique* » dans l'*espace quadridimensionnel euclidien* utilisé en théorie NR comme outil de description de l'architecture de l'espace et de la matière qu'il contient.

En application des principes décrits en introduction du chapitre 6 *Masses-énergies des particules*, nous pouvons considérer que le premier rapport $(\mathbf{C}_{SN}/\mathbf{C}_{SO})$ agit sur la *densité surfacique* (dimensions de *latitude* et de *longitude* en coordonnées sphériques¹), \mathbf{C}_{SN} et \mathbf{C}_{SO} étant eux-mêmes par définition des rapports de surfaces — entre celle d'une sphère unitaire particulière et celle de la sphère unitaire euclidienne 4π — son élévation au cube découlant de ses trois applications successives.

Le deuxième coefficient $(\mathbf{g}_e/\mathbf{g}_\mu)^2$ agit sur ce que nous avons baptisé une *pseudo-surface* à la page 168 dans la section *cryptomorphisme*, c'est-à-dire le produit entre un vecteur radial *métrique* (troisième dimension spatiale) et un deuxième vecteur radial superposé (quatrième dimension spatiale) représentant la densité de l'espace, le produit des normes de ces deux vecteurs exprimant la variation de la *jauge interne* de l'espace. N'oublions pas toutefois que cette densité évolue à l'inverse de la métrique de ce deuxième vecteur, à la manière d'un élastique qui possède de moins en moins de matière par unité de longueur au fur et à mesure qu'on le tend. Enfin, l'élévation au carré du rapport $(\mathbf{g}_e/\mathbf{g}_\mu)$ ne reflète pas sa double application, mais simplement le fait que les coefficients \mathbf{g} ont été défini comme des rapports entre une longueur polaire et une longueur équatoriale (voir pages 205 à 2016 *l'étude du facteur de Landé de l'électron*). Au final, les deux facteurs de correction de courbure apparaissant dans l'équation 8.15 agissent sur des surfaces ou des pseudo-surfaces, leur produit gérant un *hypervolume*, possédant quatre dimensions spatiales euclidiennes.

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Coordonnées_sphériques

THÉORIE NR

Calcul du rayon de Bohr a_0 de l'atome d'hydrogène ¹

Commençons par apporter quelques précisions sur la notion de *courbure spatiale*² et son interprétation dans le cadre de la théorie NR. Voici un extrait de l'introduction de l'article WIKIPÉDIA dédié :

Dans un tel modèle cosmologique, la courbure spatiale est le seul paramètre géométrique local qui caractérise la structure de l'espace. Comme de coutume en géométrie, la courbure spatiale correspond (au signe éventuel près) à l'inverse du carré du rayon de courbure des hypersurfaces³ de densité constante existant dans ces modèles.

Le terme d'*hypersurface* signifie simplement que l'on considère un sous-espace de dimension n^1 plongé dans un espace de référence de dimension n . Suivant les concepts de la théorie NR, le sous-espace à prendre en considération est une surface, celle de la sphère de contact d'un ensemble des sphères positionnées tangentes à une sphère centrale de même rayon. C'est le réglage de la densité de cette surface qui nous a permis de définir les cinq phases de l'espace (voir Fig. 2.2 page 28). Il s'agit donc d'un sous-espace de dimension n^1 si on se réfère à l'espace euclidien de dimension **3**, et de dimension n^2 si on prend en considération l'espace euclidien à quatre dimensions spatiales de la théorie NR qui nous a permis de gérer les variations de densité de l'espace fractal.

Regardons également cet autre citation issue de la section **Données actuelles** du même article WIKIPÉDIA :

La courbure spatiale de l'Univers est déterminée en analysant les anisotropies du fond diffus cosmologique. Actuellement, les données les plus précises sont celles qui ont été fournies par le satellite Planck en 2013. D'après ces mesures, il y a 95 % de chances pour que $-0,0029 < 1-\Omega = \Omega_K < +0,0008$ (où $\Omega_K = -K c^2 / a^2 H^2$).

Le paramètre Ω exprime ici dans le *Modèle cosmologique standard* un rapport entre densité d'énergie ρ d'une quantité de matière définie dans l'espace et la densité critique ρ_c de l'espace-temps supposé plat (euclidien). La valeur négative de gauche correspond ainsi à un espace de courbure positive ($\Omega > 1 \rightarrow$ espace sphérique), alors que la valeur positive de droite correspond à celle de l'espace de courbure négative ($\Omega < 1 \rightarrow$ espace hyperbolique).

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_de_Bohr

2 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Courbure_spatiale

3 Voir article WIKIPÉDIA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypersurface>

FORCES

En théorie NR, nous appellerons *paramètre de densité surfacique* et noterons Ω le rapport entre la densité surfacique C_{SN} de l'espace neutre dodécaédrique et celle de l'espace neutralisé C_{S0} généré par les objets de charge électrique globalement nulle comme le neutron ou l'atome d'hydrogène. La valeur de ce paramètre de densité surfacique Ω — nombre adimensionnel puisque rapport de deux facteurs de même nature — est **1,0023437417**, ce qui signifie que la différence $1 - \Omega$ est approximativement égale à **- 0,0023**, laquelle pourrait sembler compatible avec l'inégalité citée ci-avant dans le deuxième extrait de l'article de WIKIPÉDIA consacré à la courbure spatiale. Mais en fait il s'agit ici d'une densité exprimée en tant que rapport de surfaces et non de volumes ; et de plus nous ne sommes pas dans le cadre du Modèle standard cosmologique régi par la métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker¹. En effet, la référence du paramètre de densité Ω n'est pas celle de l'espace euclidien ρ_e mais celle de l'espace neutralisé C_{S0} , possédant déjà une courbure interne positive. La référence à l'espace euclidien aurait été C_{SN} dont la valeur est **1,0113728767**, ce qui confère à la différence $1 - \Omega$ une valeur proche de **-0,0113** sortant du cadre de l'inégalité précitée.

Regardons à nouveau la suite arithmétique convergente déjà évoquée dans la section consacrée aux *dimensions spatiales* pages 39 et 40 : $1/3 + 1/3^2 + 1/3^3 + 1/3^4 + (...) \rightarrow 1/2$. Cette suite converge bien vers la valeur **0,5**, mais celle-ci ne peut en pratique — c'est-à-dire d'un point de vue physique et non mathématique — être atteinte puisque la notion même d'infini a par principe été exclue. D'autre part, nous pouvons la regarder comme représentative de l'évolution de la densité surfacique dans les tracés régulateurs lorsque l'on passe d'une sphère de contact à une sphère circonscrite puis de nouveau à une sphère de contact, etc... puisque le rayon de courbure est à chaque fois multiplié par le facteur $\sqrt{3}$ et donc la surface de la sphère correspondante par **3**. Toutefois, nous ne raisonnons pas dans un espace euclidien, mais dans deux espaces courbes dont les densités surfaciques sont reliées par le paramètre Ω que nous venons de définir. Observons donc le résultat de l'introduction de ce paramètre Ω dans la suite arithmétique $\Sigma 1/3^n$.

1 Voir article WIKIPÉDIA :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Métrique_de_Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

THÉORIE NR

Ce que matérialise le tableau suivant :

Tab. 8.6 : Convergence de la densité surfacique de l'espace fractal dodécaédrique

Convergence de la densité surfacique de l'espace fractal dodécaédrique					
n	3 ⁿ	1/3 ⁿ	∑ 1/3 ⁿ	Ω = C _{SN} / C _{S0}	∑ (1/3 ⁿ × Ω)
1	3	0,3333333333333333	0,3333333333333333	1,0023437417	0,334114580556314
2	9	0,1111111111111111	0,4444444444444444	1,0023437417	0,445486107408418
3	27	0,037037037037037	0,481481481481481	1,0023437417	0,482609949692453
4	81	0,012345679012346	0,493827160493827	1,0023437417	0,494984563787132
5	243	0,004115226337449	0,497942386831276	1,0023437417	0,499109435152024
6	729	0,001371742112483	0,499314128943759	1,0023437417	0,500484392273655

Ainsi, dès la cinquième puissance de **3**, la convergence vers la valeur **0,5** est quasiment atteinte et même dépassée à la sixième puissance. Ceci signifie qu'en prenant en compte la courbure entre l'espace généré par le matière neutralisée et l'espace environnant neutre par l'introduction du paramètre de densité **Ω**, la surface sphérique de référence, qui évolue en raison inverse de la densité surfacique, est multipliée cinq fois successivement par trois. Mais, suivant les hypothèses posées pour décrire la structure fractale de l'espace, quand on agit par projection dans l'espace simultanément sur la *densité surfacique* et sur la *jauge interne*, c'est aux hypervolumes à quatre dimensions spatiales qu'il convient de se référer, lesquels peuvent d'une certaine manière être regardés comme homogènes avec le carré d'une surface. A partir de ces observations, les équations suivantes ont été établies afin d'aboutir au calcul du rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène considéré dans son niveau fondamental de plus basse énergie :

$$a_{0 (c)} = \left(\frac{3^5}{\Omega}\right)^2 R_{p (c)} \quad (8.17)$$

$$a_{0 (c)} = 9^5 \frac{C_{H0}}{C_{HN}} R_{p (c)} \quad (8.18)$$

La première équation 8.17 introduit le rapport entre le facteur de convergence **3⁵** et le paramètre de densité surfacique **Ω**, le tout transcrit en terme d'hypervolume par l'élévation au carré. Le rayon de Bohr est alors directement obtenu à partir du rayon du proton générateur de la projection de la charge électrique depuis son quark up. Le rayon ici pris en compte est celui de la sphère circonscrite du tracé régulateur du proton tel qu'il ressort du calcul de la taille des fermions, rayon lui-même égal à celui de l'électron multiplié par le facteur **27** (voir Tab 5.1 page 94 lignes 7 et 3).

L'équation suivante 8.18 est la traduction plus explicite de la première 8.17 en terme d'hypervolume, avec $1/\Omega^2 = C_{H0}/C_{HN}$.

FORCES

Résultat du calcul de a_0 :

Tab. 8.7 : Calcul du rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène

Calcul du rayon de Bohr a_0 de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental					
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	U (SI)
1	Rayon du proton (calculé, section efficace)	$R_{p(C)}$	Voir calcul des rayons des fermions	9,00451234E-16	m
2	Paramètre de densité surfacique (TNR)	Ω	$\Omega = \frac{C_{50}}{C_{50}}$	1,0023437417	1
3	Rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène (calculé)	$a_{0(C)}$	$a_{0(C)} = \left(\frac{3^2}{\Omega}\right) R_{p(C)}$	5,29223814E-11	m
4	Rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène	$a_{0(B)}$	$a_{0(B)} = \frac{\hbar}{\alpha m_e c}$	5,29177211E-11	m
5	Différence $a_{0(C)} - a_{0(B)}$ (valeur absolue)	Δ	$\Delta = a_{0(C)} - a_{0(B)} $	4,66033684E-15	m
6	Pourcentage différence	% Δ	% $\Delta = \frac{\Delta}{a_{0(B)}}$	0,0088067603	%

Résultat 29 : La valeur du rayon de Bohr a_0 de l'atome d'hydrogène considéré dans son niveau d'énergie fondamental est comparé au résultat donné par l'équation de l'électrodynamique quantique avec une précision inférieure à **1/10 00^{ème}**.

Accessoirement, la comparaison entre l'équation proposée par la théorie NR et celle définie par la théorie de l'électrodynamique quantique (QED) nous permet d'aborder un deuxième calcul de la masse de l'électron, totalement indépendant dans ses principes de la méthode suivie pour aboutir au résultat de la ligne 17 du tableau 6.2 de la page 113. En effet :

$$a_0 = \frac{\hbar}{\alpha c m_{eL}} \quad (\text{QED 8.19}) \quad \text{et} \quad a_{0(C)} = \frac{3^{13}}{\Omega^2} R_{eL(C)} \quad (\text{TNR 8.20}) \quad \text{avec :}$$

$$\frac{\hbar}{c} = \frac{\mu_{\infty}}{2 \pi} \quad (8.21) \quad \mu_{\infty} = \frac{e^2 \mu_0}{2 \alpha} \quad (8.22) \quad \mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{\Omega^3}{138} \quad (8.23)$$

Quelques réarrangements aboutissent au calcul suivant :

Tab. 8.8 : Calcul de la masse de l'électron à partir du rayon de Bohr a_0

Calcul de la masse de l'électron libre (à partir du rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène)					
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	U
1	Charge électrique élémentaire	e	Exacte par définition	1,60217663E-19	C
2	Facteur de conversion kilo - électronvolt	F	F = 1 kg / 1 eV	5,60958617E+35	1
3	Rayon de l'électron (calculé section efficace)	R_e	Voir calcul des rayons des fermions	3,33500457E-17	m
4	Paramètre de densité surfacique (TNR)	Ω	$\Omega = \frac{C}{C_{50}}$	1,0023437417	1
5	Paramètre de masse	k_{me}	$k_{me} = \frac{23^2}{2^2 3^{11} 5^2}$	1,19448819E-09	1
6	Masse de l'électron libre (calculée en kilo)	$M_{eL(C kg)}$	$m_{eL(C kg)} = k \frac{e^2}{R_e} \left(\frac{1}{\Omega}\right)^4$	9,10834523E-31	kg
7	Masse de l'électron libre (calculée en électronvolt / c ²)	$M_{eL(C eV)}$	$m_{eL(C eV)} = F m_{eL(C kg)}$	5,10940474E+05	eV/c ²
8	Masse de l'électron libre (mesurée)	$M_{eL LM}$	expérimentale	5,10998918E+05	eV/c ²
9	Différence $M_{eL(M)} - M_{eL(C)}$ (valeur absolue)	Δ	$\Delta = M_{eL(M)} - M_{eL(C)} $	5,84440657E+01	eV/c ²
10	Pourcentage différence	% Δ	% $\Delta = \frac{\Delta}{M_{eL(M)}}$	0,0114372191	%

Résultat 30 : La masse de l'électron est ainsi calculée une deuxième fois par une méthode entièrement différente avec une précision proche de **0,11%**, dix fois supérieure à la précédente.

THÉORIE NR

Ce calcul peut sembler séduisant en raison de sa précision, de sa simplicité et du fait qu'il ne rassemble que les trois paramètres caractéristiques de l'électron libre que sont sa *masse*, sa *charge électrique* et son *rayon*. Cette précision doit toutefois être relativisée puisqu'elle s'appuie sur une hypothèse propre à la théorie NR qui est le rayon de l'électron R_e au niveau de la sphère circonscrite de son tracé régulateur. La physique officielle considère encore souvent l'électron comme une particule ponctuelle, et les théories spéculatives les plus avancées comme la *théorie des cordes* et la *gravitation quantique à boucles* spéculent toutes deux sur des objets de tailles infinitésimales reliées à la longueur de Planck, ce qui les éloigne d'environ dix huit ordres de grandeur (10^{18}) de la particule X qui constitue la limite métrique inférieure du présent exercice. Regardons plus en détail cette nouvelle équation de la théorie NR donnant la masse de l'électron libre :

$$m_e = k \frac{e^2}{R_e} \left(\frac{1}{\Omega} \right)^4 \quad (8.24) \quad \text{Dimensions (TNR)} : [L T^{-1}] = [L^2 T^{-1}] \frac{[L^4 L^{-4}]}{[L]} [L^{-8} L^8]$$

Notons que le paramètre de masse $k = 23^2 \times 2^{-5} \times 3^{-11} \times 5^{-7}$ amalgame plusieurs nombres épars provenant des équations 8.20 à 8.23 dont le nombre irrationnel π qui au final se simplifie et disparaît, mais également la *constante magnétique* μ_0 , interprétée en théorie NR comme une *viscosité cinématique*, ce qui confère ainsi à ce paramètre k la dimension $L^2 T^{-1}$, et à l'équation 8.24 dans son ensemble la dimension d'une vitesse $L T^{-1}$ en cohérence avec le principe retenu dans le but d'obtenir une simplification du système international d'unités (SI). A propos de ce système, notons que si la charge élémentaire e est ici considérée comme ayant la dimension d'un angle solide $L^2 L^{-2}$, c'est bien sa valeur en *coulomb* qui est utilisée dans le calcul pour des besoins de cohérence, et non sa « valeur géométrique » **arccos 23/27**. Le coulomb est une unité définie comme un ampère multiplié par une seconde soit **A.s**, mais la simplification des unités SI porte aussi sur l'ampère **A** qui est regardé comme un *taux de cisaillement* T^{-1} . Quant au paramètre Ω , il s'agit d'un rapport de surfaces, et élevé à la puissance quatrième il devient un rapport d'hypervolumes élevé au carré. Ce rapport peut ainsi être associé à la charge élémentaire e , l'élévation au carré pouvant être regardée comme l'expression d'une projection de cette charge dans l'espace courbe à quatre dimensions spatiales.

FORCES

Interprétation des constantes fondamentales de la physique

Le calcul de la constante de couplage α nous permet d'avancer d'un pas de plus sur le chemin du mystère de l'interprétation des constantes fondamentales de la physique officielle (c e α μ_0 h G) et de leurs correspondantes en théorie NR (c e α μ_0 μ_∞). Essayons donc de résumer les caractéristiques de ces différents objets de la physique théorique actuellement enseignée et regardons de quelle manière nous pourrions jeter sur eux un regard nouveau, regard de nature « parfaitement géométrique ».

Comparaison

Théorie physique

Théorie NR

Vitesse de la lumière dans le vide c

La constante c représente la *vitesse de la lumière dans le vide*, vitesse qui ne concerne que les particules sans masse comme le photon.

Pour les objets physiques massifs, cette vitesse constitue une limite asymptotique qui ne peut être atteinte.

Sa valeur est de **299 792 458 m s⁻¹** (dimension $L T^{-1}$). Elle est considérée comme exacte par définition depuis 1983, suite au dix-septième congrès de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) et à l'obtention d'un accord international visant à redéfinir le mètre.

Le vide et les masses nulles sont des concepts qui sont par principe exclus de la théorie NR. La vitesse c est donc considérée comme un objet d'essence purement mathématique.

Sa nature profonde est à rapprocher de celle des constantes μ_0 et μ_∞ considérées comme des viscosités cinématiques, qui sont des « capacités à s'épancher ». La constante c est ainsi vue comme une « capacité à avancer ». Le principe de relativité impose que si la vitesse c est considérée comme fixe, ce sont les mesures de longueurs et de temps qui doivent varier de conserve.

Charge électrique élémentaire e

La notion de charge électrique reste en physique contemporaine un concept relativement mystérieux quant à sa nature profonde, en particulier du fait qu'elle se présente sous deux formes quantifiées, l'une dite négative par convention, multiple de la charge élémentaire de l'électron, l'autre étant positive et associée à la charge globale du proton.

La charge électrique élémentaire est issue du double processus topologique d'enveloppement, décrit comme un problème d'empilement de sphères d'égal rayon dans un espace souple permettant de résorber la frustration géométrique affectant certains objets comme la sphère ou le tétraèdre régulier dans un espace euclidien possédant trois dimensions spatiales.

THÉORIE NR

La charge élémentaire e s'exprime en *coulomb* dans le Système international d'unités (SI). Le 16 novembre 2018, la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), à l'occasion de sa vingt-sixième réunion, a décidé qu'à partir du 20 mai 2019 la charge électrique élémentaire sera considérée comme exacte.

Sa valeur absolue est fixée à :

$$e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

Les deux charges électriques élémentaires s'interprètent ainsi comme deux densités de l'espace qui peuvent se mesurer sous forme de deux angles solides exprimés en stéradian, unité réputée être « sans dimension », mais possédant en théorie NR la « dimension cachée » $L^2 L^{-2}$.

La valeur absolue de e est ainsi exacte par définition :

$$e = \arccos(23/27) = 0,55128560 \text{ sr}$$

Constante de structure fine électromagnétique α

La constante de structure fine électromagnétique est définie comme la *constante de couplage* de l'interaction électromagnétique. Il s'agit d'une grandeur *adimensionnelle* reflétant l'intensité du couplage entre une charge électrique et le champ magnétique.

Sa valeur mesurée expérimentalement (LKB 2020) est **0,007297352563**.

Elle répond à l'équation suivante dans le Système international d'unités (SI) :

$$\alpha = \frac{\mu_0 c e^2}{2 h} \quad (8.12)$$

Ce qui donne la valeur **0,007297352449**, inférieure de **15,58 10^{-9}** par rapport à celle mesurée expérimentalement.

De nombreuses interprétations quant à la nature de cette constante sont proposées, mais fondamentalement son origine reste un mystère (voir note 1 page 247). A l'origine, en 1916 selon Arnold Sommerfeld, elle devait permettre de mesurer les écarts relativistes entre les raies spectrales atomiques d'après les prédictions du modèle de Bohr. C'est également vu comme l'énergie requise pour rapprocher deux particules de charge élémentaire situées à l'infini à une distance s contre les forces de répulsion électrostatique.

La constante de structure fine électromagnétique est un objet de nature parfaitement géométrique opérant dans l'espace à quatre dimensions spatiales de la théorie NR. Elle possède la dimension cachée $L^4 L^{-4}$, définie comme un *angle hypersolide*, par analogie avec la notion d'*angle solide* ($L^2 L^{-2}$).

Elle quantifie en quelque sorte la dilution de l'espace fractal par projection dans les trois directions de l'espace euclidien, en tenant compte de surcroît de la diminution de la densité à la manière de la détente d'un gaz.

Son calcul (Tab. 8.5 page 257) repose sur le principe de la projection de la charge élémentaire e du proton dans le puits de potentiel issu de son quark up (facteur **1/23**), avec une triple correction $(C_{SN}/C_{So})^3$ due à l'effet de pointe.

Mais il est proposé que l'électron captif ne puisse se positionner que dans un sixième du puits de potentiel du quark up en raison de sa structure hexagonale (facteur **1/6**), avec une deuxième correction $(g_e/g_\mu)^2$ venant prendre en compte la courbure de l'espace neutralisé.

La valeur de α s'établit à **0,007297355845**, supérieure de **449,78 10^{-9}** par rapport à la valeur mesurée expérimentalement.

FORCES

Constante de Planck h

Cette constante h — hommage au physicien éponyme Max Planck — établit un rapport de proportionnalité entre l'énergie E et la fréquence f de l'onde associée, caractéristiques des particules élémentaires : $E = h f$.

Albert Einstein a relié en 1905 ce quantum d'énergie à un quantum de l'onde électromagnétique associée, ce qui a abouti à la formulation de la *dualité onde-particule* et finalement au concept de *photon*.

Sa valeur a été fixée « par définition » le 20 mai 2019, et elle est à la base de la définition du kilogramme :

$$h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ Joule} \times \text{seconde}$$

Elle possède en unités du système international (SI) la dimension d'une action ($M L^2 T^{-1}$).

La constante de Planck h a été délibérément « coupée en deux », initialement dans un souci de faciliter l'interprétation de ses unités dérivées que sont la *longueur de Planck* et le *temps de Planck*. Elle garde la dimension d'une *action*, mais elle est alors interprétée comme le produit d'une *viscosité cinématique* et d'une *vitesse* ($L^2 T^{-1} \times L T^{-1}$), en faisant usage du principe d'équivalence entre masse et vitesse.

S'établit ainsi une relation entre la *capacité à s'épancher en surface* caractéristique de la viscosité cinématique et la vitesse de la lumière dans le vide c . Apparaît alors la constante $\mu_{\infty} = h/c = 2,21021904.10^{-42} m^2 s^{-1}$, dont la valeur est également *exacte par définition* puisque h et c le sont.

Constante de Newton G

La constante gravitationnelle G , dite *constante de Newton*, régit le rapport de proportionnalité de la *loi universelle de la gravitation* d'Isaac Newton datant de 1687 et répondant à l'équation suivante :

$$F_{A/B} = G \frac{M_A M_B}{d^2} \quad (8.25)$$

Elle est également appelée *constante de Cavendish* en l'honneur d'Henry Cavendish qui a été le premier en 1797 à réaliser une expérience destinée à en mesurer la valeur :

$$G = 6,67430(15) \times 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

Elle possède en unités du système international la dimension $M^{-1} L^3 T^{-2}$, ce qui est difficile à interpréter.

La force de gravitation est très faible, en comparaison des trois autres forces que sont la force électromagnétique et les forces nucléaires faible et forte.

La constante gravitationnelle G est remplacée par la formule $G_0 = \mu_0 \alpha^2$, produit de la constante magnétique et du carré de la constante de structure fine électromagnétique. L'application du principe d'équivalence entre masse et vitesse donne à cette constante la dimension d'une viscosité cinématique $L^2 T^{-1}$, tout comme les deux autres constantes que sont μ_0 et μ_{∞} .

L'indice 0 signifie que la constante concerne un objet relativement imaginaire, car difficile à réaliser expérimentalement, qui serait composé exclusivement d'atomes d'hydrogène à l'état solide.

L'interprétation est la suivante.

La force gravitationnelle est au départ considérée comme prenant sa source au niveau du quark up d'un proton ou d'un neutron, d'où la présence de la constante μ_0 dans l'équation de G_0 .

THÉORIE NR

Par exemple, l'attraction gravitationnelle entre un électron et un proton séparés d'un mètre est proche de 10^{-67} newton. La force électromagnétique entre les deux mêmes particules à la même distance vaut environ 10^{-28} newton, c'est-à-dire que la différence est de 39 ordres de grandeur, ce qui est absolument considérable.

La constante de structure fine gravitationnelle α_g , nombre adimensionnel défini par analogie avec la constante de structure fine électromagnétique, reflète cet écart puisque sa valeur s'établit à $5,90 \times 10^{-39}$ entre deux protons et à $3,22 \times 10^{-42}$ entre un proton et un électron.

Dans le cas de la matière ordinaire en phase neutralisée, cette force est reportée au niveau de l'électron associé au proton, ce qui demande de faire intervenir la constante α , l'élévation au carré étant liée à la présence de deux masses en interaction.

L'incertitude relative de la mesure de la constante G est de $4,6 \times 10^{-5}$, très supérieure à celles des autres constantes fondamentales de la physique. La prise en compte de la composition atomique des masses gravitationnelle est donc une manière d'expliquer pourquoi cette faible précision n'est pas sujette à de possibles améliorations futures.

Conclusions sur la nature de l'électromagnétisme en théorie NR

Pour ce qui est de la seule force électromagnétique, nous pouvons faire un point d'étape et en résumer les caractéristiques principales, dans la vision particulière de la théorie NR.

La force électromagnétique se transmet dans une nouvelle espèce d'*éther luminifère*, sensiblement différent de celui envisagé historiquement par les physiciens théoriciens. Il s'agit en effet d'un « éther dynamique », qui peut être regardé soit d'un point de vue métrique comme une substance élastique *continue* que nous avons nommée « espace », soit d'un point de vue énergétique comme une sorte de « gaz parfait de bosons de X ». La dualité onde-corpuscule est donc une propriété inhérente à ce nouvel éther, sans contradiction apparente. Simple affaire de point de vue, « lissé » ou « cinématographique ».

Le boson de X est l'atome élémentaire de ce gaz parfait, mais son comportement est sensiblement différent de celui des atomes des gaz que nous connaissons, dont les propriétés sont décrites dans le cadre de la branche de la physique théorique dite *physique statistique*. En effet, il s'agit d'un gaz de bosons, et non d'un gaz de fermions comme par exemple l'hydrogène formé de couples de protons et d'électrons.

FORCES

Ainsi, la bonne approche schématique n'est pas celle de petites billes solides qui s'entrechoquent et dont l'écartement moyen et la vitesse déterminent la pression et la température, mais plutôt celle d'un milieu élastique traversé par diverses ondes de densité se croisant, qui en se combinant s'harmonisent, faisant apparaître une trame d'ondes stationnaires entourant des *oscillateurs harmoniques*, pour reprendre le vocabulaire familier des théoriciens de la physique quantique.

La différence est que la physique quantique opère dans un *champ quantique* dont la nature concrète reste à ce jour difficile à établir, alors que l'espace formé par cette trame de boson de X se comporte d'une manière bien connue en physique classique, celle des ondes acoustiques par exemple.

La force électromagnétique est en théorie NR directement unifiée avec toutes les autres, en tant qu'une des différentes manifestations de la *pente de l'espace*, ce qui n'est rien d'autre que la vision *vectorielle* du *gradient de densité de l'espace*. Selon cette interprétation, l'espace est regardé comme un *champ scalaire* de densité, dont les variations peuvent s'interpréter soit en terme de *courbure*, soit en terme de *pente*. Au final, ce n'est qu'une généralisation au domaine quantique de la vision einsteinienne de l'espace décrite par la théorie de la relativité générale.

La *charge électrique élémentaire négative* est portée par le quark électronique — objet propre à la théorie NR, puisque jusqu'à nouvel ordre l'électron reste un objet ponctuel dans les théories physiques actuelles — et la *charge électrique élémentaire positive* par le quark up du proton. Ces deux objets — qualifiés de *quasi-particules* puisqu'ils ne sont que des détails techniques de particules — ne sont pas intrinsèquement chargés. Ils ne font que transmettre et projeter les charges électriques sous la forme d'un pincement de l'espace, suite à la première opération topologique d'enveloppement en ce qui concerne l'électron, et suite à la deuxième s'agissant du proton.

Au final, les charges électriques élémentaires peuvent être regardées comme des angles solides, adimensionnels, avec cependant une « équation aux dimensions cachées », puisqu'un angle solide est en réalité le quotient de deux surfaces.

THÉORIE NR

Électrons et protons sont considérés en théorie NR comme des *monopôles magnétiques* — objets encore hypothétiques pour la physique officielle, bien que qualifiés de « nécessaires » par certains physiciens théoriciens — et les *pôles magnétiques* des aimants ne sont donc que des regroupements excédentaires de monopôles magnétiques, négatifs d'un coté, positifs de l'autre.

Le champ magnétique est décrit d'un point de vue géométrique comme une collection de surfaces isobares, sur lesquelles la densité de l'espace est constante — vision mathématique, puisque la trame de l'espace étant faite d'oscillateurs harmoniques, aucun objet physique ne peut être qualifié de constant à partir d'un certain niveau de détail, principe NR oblige — et le champ électrique comme les lignes de plus grande pente du champ magnétique. Les lignes de projection dans l'espace de ce champ électrique sont du type *cardioïde*, à l'instar de celles suivies par les ondes acoustiques projetées par un haut-parleur directionnel.

Pour comprendre le mode de propagation des ondes électromagnétiques dans l'éther dynamique de la théorie NR, il nous faut tenir compte de deux principes : celui que nous avons baptisé *recohérence* — vision TNR de la *décohérence* quantique — et celui de la *sensibilité aux conditions initiales* issu de la théorie du chaos.

Cet éther dynamique possède une tendance naturelle à l'harmonisation, car sous certaines conditions, un groupe de bosons de X voisins dans l'espace se synchronisent, et dans cette situation particulière le morceau d'espace auquel ils participent n'est pas en expansion. C'est le cas des particules de matière qui adoptent une architecture quasi-sphérique — si on néglige l'effet de pointe et le framboisement — et d'autres objets particuliers comme les rayons laser ou les condensats de Bose-Einstein.

A noter que l'intérieur de ces morceaux d'espace harmonisés n'est pas soumis au temps, en l'absence de frottement de l'espace, ou de taux de cisaillement ce qui est équivalent. Les *ondes électromagnétiques* se propagent dans l'éther dynamique de la théorie NR formé d'une trame de bosons de X (qui sont en fait des oscillateurs harmoniques triphasés), ce qui oblige à apporter certaines précisions pour conserver un caractère réaliste à la dualité onde-corpuscule.

FORCES

En effet, il faut prendre en considération deux caractéristiques particulières de cet éther : il est *fractal* et *localement en expansion* (ce qui lui donne de plus un aspect *héraclitéen*, ou *non-commutatif* diraient les mathématiciens). Tout ceci aboutit à un type d'espace relativement complexe — très éloigné de l'espace euclidien rigide support de la physique classique — nécessitant un important effort de visualisation pour en saisir le fonctionnement. La figure 8.3 de la page 242 propose une nouvelle visualisation de la nature de la propagation des ondes électromagnétiques, basée sur les notions d'hypervolume, de vitesse de groupe, de vitesse de phase, de collimation et d'hélicité. Elle nous permet d'échapper aux mystères quantiques de la dualité onde-corpuscule (métaphore du baigneur face à la houle) et de la non-localité (zone d'influence des particules et vitesse de phase supraluminique).

En pratique, l'expansion de l'espace ne se produit qu'à la frontière entre groupes de bosons de X en décalage de phase. Par exemple, dans ce que les astrophysiciens ont baptisé *rayons cosmiques*, un proton traversant l'espace à grande vitesse va perturber la trame des bosons de X , de la même manière qu'un projectile traversant l'atmosphère perturbe la trame des molécules présentes dans l'air. C'est précisément cette désynchronisation entre morceaux d'espaces voisins qui provoque l'apparition de nouveaux oscillateurs harmoniques, et donc l'expansion de l'espace. Plus les sources de perturbations croisées seront nombreuses et plus l'évolution de la trame de l'espace sera complexe, semblable au mouvement brownien décrit par la physique statistique, d'où le recours nécessaire à la théorie du chaos pour analyser certaines caractéristiques de la propagation des ondes électromagnétiques, en particulier le fameux décalage vers le rouge cher aux astrophysiciens. Cette propagation des ondes électromagnétiques est donc encadrée par deux comportements antagonistes, une tendance à l'harmonisation et une autre à la dispersion aléatoire. Il nous faut donc séparer deux aspects de cette propagation : l'émission et la transmission.

La théorie cosmologique standard actuelle considère que les galaxies s'éloignent les unes des autres en raison de l'expansion de l'univers, ce qui provoque un décalage vers le rouge des ondes lumineuses que nous recevons dans nos observatoires.

THÉORIE NR

Seul un important mouvement propre de rapprochement est susceptible contrevenir à cette règle générale, ce qui ne peut concerner que des galaxies proches. La cause de ce décalage est attribuée à l'effet Doppler, la variation de la fréquence étant uniquement reliée à la vitesse de la source par rapport à l'observateur, somme vectorielle de la vitesse propre locale et de la vitesse liée à l'expansion globale de l'espace. La théorie NR propose une vision sensiblement différente, puisque la taille des l'univers est considérée comme fixe, ce qui signifie en pratique que la vitesse apparente des galaxies par rapport à nous n'est que leur vitesse propre. D'où peut alors provenir le décalage vers le rouge des fréquences, effet parfaitement établi expérimentalement qu'il n'est pas question de nier ? La réponse a été proposée dès le début de l'exposé. Ce n'est pas la vitesse d'éloignement due à l'expansion de l'univers qui provoque ce décalage mais le fait que les ondes lumineuses sont transmises dans un éther localement en expansion, ce qui en quelque sorte fait « dégénérer » le signal dans la ligne de visée d'un observateur. Autre particularité de la théorie NR : les photons ne sont pas transmis de la source au récepteur, la métaphore du baigneur faisant face à la houle venant du large illustrant cette idée. Ce sont les bosons de X situés immédiatement au contact du récepteur qui provoquent le signal et non ceux à l'origine de l'émission. D'autre part, le caractère fractal de l'espace, décrit par un appareillage géométrique à quatre dimensions spatiales, provoque une collimation de la transmission du signal, un photon — groupe de boson de X voisins dans l'espace et synchronisés dans le temps — se propageant par répliques successives, plus ou moins fidèles en fonction de l'état de perturbation de l'environnement, un peu à la manière du signal électrochimique d'influx nerveux parcourant les axones des neurones, en sautant de nœud de Ranvier en nœud de Ranvier¹.

Sur la base de ces principes généraux, une série de calculs ont été effectués concernant :

1. La *constante gravitationnelle de Newton* **G**, dont la supposée universalité a été remise en question, sa valeur étant modulée en fonction de la nature des noyaux atomiques (précision : **2,61%**).

1 Voir l'article WIKIPÉDIA: https://fr.wikipedia.org/wiki/Nœud_de_Ranvier

FORCES

2. La constante de structure fine électromagnétique α , vue comme une conséquence du deuxième processus topologique d'enveloppement générateur du neutron et associée à la notion d'*angle hypersolide* dans l'espace à quatre dimensions spatiales (précision : **0,45 10⁻⁶**, soit moins d'*un demi-millionième*).
3. Le rayon de Bohr a_0 de l'atome d'hydrogène dans son état d'énergie fondamental, à partir du rayon de la sphère circonscrite du tracé régulateur du proton (ou de celui de l'électron qui est vingt sept fois plus réduit (précision : **0,088 %**)).
4. La masse de l'électron libre m_e , à partir de la charge électrique élémentaire e et du rayon de Bohr a_0 de l'atome d'hydrogène dans son état d'énergie fondamental (précision : **0,11 %**).

Examinons pour finir la loi de Coulomb, proposée en 1785 par le physicien français Charles-Augustin Coulomb, relative à la force s'exerçant entre deux particules électriquement chargées. L'équation régissant cette force s'écrit ainsi :

$$|F| = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (8.26)$$

F = Force de Coulomb
 ϵ_0 = Permittivité du vide
 q_1 et q_2 = Charges électriques négatives ou positives
r = Distance entre les deux charges électriques

Cette équation peut être réécrite sous cette forme particulière, en remplaçant ϵ_0 par $1/c^2 \mu_0$:

$$|F| = \frac{\mu_0}{4 \pi} \frac{c |q_1|}{r} \frac{c |q_2|}{r} \quad (8.27)$$

F = Force de Coulomb
 μ_0 = Perméabilité magnétique du vide
c = Vitesse de la lumière dans le vide
 q_1 et q_2 = Charges électriques négatives ou positives
r = Distance entre les deux charges électriques

Cette formule constitue une excellente introduction pour aborder la prochaine section consacrée à l'étude de la force gravitationnelle.