

## TRANSFORMATION DE LA FORCE NUCLEAIRE FORTE EN FORCE GRAVITATIONNELLE

### EFFET SHAPIRO NUCLEAIRE

#### 1. Objet de l'article

L'objet de cet article est de présenter les concepts essentiels de la théorie des créatons, des vortex et des ondes quantifiées ainsi qu'une expérience permettant d'apporter du crédit à cette théorie : l'effet Shapiro nucléaire.

#### 2. Concepts fondamentaux

Les concepts fondamentaux de la théorie proposée sont les suivants :

- postuler l'existence dans tout l'Univers d'entités très ténues, sans masse, se déplaçant à des vitesses superluminiques. Ces entités sont appelés créatons,
- ces entités forment un milieu, appelé OMNIUM (contraction de omni et medium) qui s'immisce partout, de l'infiniment petit à l'infiniment grand,
- il est possible de montrer que ce milieu **se déforme** de façon centripète en présence de corps massifs **de la même façon que l'espace-temps d'Einstein**,
- il est possible de déduire de ce milieu un Référentiel Privilégié ou plutôt une REFERENCE,
- postuler l'existence de vortex, petites ondes élémentaires, ayant pour milieu de propagation l'OMNIUM,
- les vortex eux-mêmes sont constitués par les entités formant le milieu,
- un photon serait une « onde quantifiée » constituée d'une file de vortex espacés d'une longueur d'onde. Les axes des vortex seraient perpendiculaires au déplacement du photon,
- une particule matérielle serait également une « onde quantifiée » constituée de files de vortex. Lorsque la particule est au repos par rapport au milieu, les axes des vortex seraient parallèles à l'axe de la file et les vortex décriraient des trajectoires circulaires autour de l'axe de la file de vortex. Lorsque la particule matérielle serait en mouvement à la vitesse  $\vec{V}$  par rapport à l'OMNIUM, les axes des vortex s'inclineraient et les vortex décriraient une hélice (leur trajectoire serait semblable à une hélice d'ADN). Cette trajectoire en hélice redonne exactement le coefficient  $\gamma = \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{-1/2}$ . Dans le référentiel lié à la particule, les vortex possèdent toujours une trajectoire circulaire autour de l'axe de la file,
- ainsi, les photons et toutes les particules de matière seraient constitués d'ondes quantifiées.

#### 3. Transformation de la force nucléaire forte en force gravitationnelle

La théorie des créatons et des vortex a pour « ancêtre » la théorie de Fatio de Duillier / Le Sage. En effet, l'idée de base des deux théories est la même : postuler l'existence d'entités présentes dans tout l'Univers, se mouvant dans toutes les directions à de très grandes vitesses et expliquant la gravitation.

Pour présenter très succinctement la théorie de Le Sage, je reprends les propos d'**Henri Poincaré** dans son ouvrage **Science et Méthode** :

« Il convient de rapprocher ces considérations d'une théorie proposée depuis longtemps pour expliquer la gravitation universelle. Supposons que, dans les espaces interplanétaires, circulent dans tous les sens, avec de très grandes vitesses, des corpuscules très ténus. Un corps isolé dans l'espace

ne sera pas affecté, en apparence, par les chocs de ces corpuscules, puisque ces chocs se répartissent également dans toutes les directions. Mais, si deux corps A et B sont en présence, le corps B jouera le rôle d'écran et interceptera une partie des corpuscules qui, sans lui, auraient frappé A. Alors, les chocs reçus par A dans la direction opposée à celle de B n'auront plus de contrepartie, ou ne seront plus qu'imparfaitement compensés, et ils pousseront A vers B. Telle est la théorie de Le Sage. »

Cependant, la théorie des créatons et des vortex est une théorie qui propose de nombreux concepts, entités nouvelles qui n'existaient pas dans la théorie de Le Sage.

Les différences les plus notables de la théorie des créatons et vortex avec la théorie de Le Sage sont les suivantes :

- les entités ultimes sont considérées comme étant « au-delà de la matière », c'est-à-dire ne possédant pas de masse et n'étant pas soumises au principe de la Relativité. Ces entités ne sont donc pas limitées par la vitesse de la lumière, mais possèdent au contraire des vitesses bien supérieures à celle de la lumière ;
- les entités ultimes (appelées créatons) forment des regroupements appelés vortex qui sont à la base de la formation de la lumière (photons) et de la matière (particules matérielles). Elles sont donc la source de toute la création ;
- les interactions entre les entités ultimes et la matière sont donc de façon très intime des interactions entre des entités de même nature (les créatons) et non pas de deux natures différentes comme dans la théorie de Le Sage ;
- la matière est constituée uniquement d'ondes qui se propagent dans un milieu (appelé OMNIUM) qui est constitué de créatons. La matière ne se meut donc pas suite à des chocs avec les corpuscules de Le Sage mais par propagation dans leur milieu de propagation.

**Ainsi, la Terre serait constituée d'un nombre presque infini d'ondelettes et se déplacerait dans l'Espace comme un nombre gigantesque de vagues se déplaçant sur l'Océan.**

**Trois points fondamentaux** expliquent que la force forte soit bien supérieure à la force de gravitation bien que toutes deux soient dues aux créatons du champ de créatons universel :

- **la rotation très rapide des vortex constituant les nucléons. Ce mouvement de rotation très rapide arrête pratiquement tous les créatons arrivant sur le nucléon. Le nucléon est presque opaque aux créatons ce qui crée une force colossale, la force forte ;**
- **la structure très lacunaire de la matière à grande échelle (macroscopique) qui n'arrête qu'une très faible proportion de créatons, ce qui explique la faible puissance de la force de gravitation par rapport à la force forte ;**
- le dernier point est capital : un grain de matière est constitué d'un très grand nombre d'atomes, de noyaux et de nucléons, qui réémettent les créatons captés, dans toutes les directions de l'espace. En revanche, un vortex, un nucléon et un noyau sont assimilés à un cylindre qui reçoit les créatons par la surface cylindrique et réémet les créatons par les deux bases du cylindre. Ainsi, au voisinage de la partie cylindrique d'un nucléon, les créatons « standards » du champ de créatons créent une force, une pression énorme car ils ne sont pas compensés par des créatons qui seraient émis par le nucléon au travers de l'enveloppe cylindrique.

Il est possible de faire une analogie entre le nucléon opaque aux créatons et la Terre opaque à la lumière (aux ondes électromagnétiques dans le domaine visible).

Pour un observateur situé du côté de la Terre opposé au Soleil :

- lorsque l'observateur est très proche de la Terre, le masque constitué par la Terre est énorme et la Terre fait donc écran à toute la lumière émise par le Soleil. C'est la nuit (la plus totale s'il n'y avait pas la Lune, ni les étoiles)
- lorsque l'observateur s'éloigne de la Terre, le masque devient progressivement plus petit et la lumière revient jusqu'à donner une clarté **presque** comparable à celle qu'il y aurait sans la présence de la Terre.

**La force nucléaire dite forte et la force gravitationnelle ne sont qu'une seule et unique force**, le passage de l'une à l'autre dépendant de la distance du point P où la force est déterminée au centre du nucléon appartenant à un ensemble de nucléons (corps matériel) :

- lorsque la distance est inférieure à  $R_0$  (probablement quelques femto mètres) c'est la force nucléaire forte qui est en jeu du fait de l'effet d'écran/masque énorme du nucléon
- lorsque la distance est nettement supérieure à  $R_0$ , la force nucléaire forte fait place à la force gravitationnelle car l'effet d'écran est moindre et le champ de créatons dans la direction du nucléon (vu par le point P) reprend son rôle de compensation par rapport au champ de créatons situé dans la direction opposée. Le nucléon ne crée plus qu'un léger déficit de créatons au point P, cause de la force gravitationnelle.

Cela ressemble fortement aux trois zones du champ électromagnétique rayonné par une source :

- zone de Rayleigh valide dans le domaine  $]0, R_0]$  avec  $R_0 = \frac{D^2}{2\lambda}$  : zone de champ fort
- zone de Fresnel valide dans le domaine  $]R_0, R_1]$  avec  $R_1 = \frac{2D^2}{\lambda}$  : zone intermédiaire de transition
- zone de Fraunhofer valide dans le domaine  $]R_1, +\infty[$  : zone de champ lointain.

De même il serait possible de définir trois zones :

- zone de la force nucléaire forte valide dans le domaine  $]0, R_0]$  avec  $R_0$  de l'ordre de quelques femto mètres
- zone intermédiaire de transition dans laquelle la force n'est plus forte mais n'est pas encore la force gravitationnelle
- zone de la force gravitationnelle valide dans le domaine  $]R_1, +\infty[$  avec  $R_1$  de l'ordre de quelques  $R_0$ .

La plupart des résultats fournis par la relativité générale au sujet de la gravitation peuvent donc s'appliquer à la force nucléaire, en particulier :

- la déflexion d'un rayon lumineux par un corps massif dans le cas de la gravitation implique qu'un rayon lumineux est également dévié par un nucléon ou un noyau d'atome
- l'effet Shapiro « standard » devient l'effet Shapiro nucléaire.

#### 4. Déflexion d'un rayon lumineux par un nucléon ou un noyau d'atome

La relativité générale prédit la déflexion d'un rayon lumineux par un corps massif tel que le Soleil. Selon la théorie proposée, un rayon lumineux serait également défléchi par un noyau d'atome.

La déflexion d'un rayon lumineux par un noyau d'atome serait similaire à celle obtenue avec un corps massif, mais alors qu'il faut utiliser la constante de gravitation universelle  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$

dans le cas gravitationnel, il faut utiliser la constante  $K = k \cdot G$  (où  $k = \frac{F_{\text{Nucléaire}}}{F_{\text{Gravitation}}} \approx 10^{38}$  désigne le rapport d'intensité entre la force nucléaire forte et la force de gravitation) dans le cas nucléaire.

La déflexion dans le cas nucléaire est donc  $k$  fois plus importante que dans le cas gravitationnelle.

Cependant la déflexion dans le cas gravitationnel est dû à l'influence d'un corps massif de masse  $M$  auquel est associée la constante  $r_G = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$  et la déflexion est donnée par la formule

$\delta_{\text{déviation}} = \frac{4GM}{c^2 \cdot r_{\text{min}}} = 2 \frac{r_G}{r_{\text{min}}}$ , alors que dans le cas nucléaire la déflexion est due à l'influence d'un

noyau d'atome de masse  $m$  auquel est associée la constante  $r_K = \frac{2 \cdot K \cdot m}{c^2}$  et la déflexion est donnée

par la formule  $\delta_{\text{déviation}} = \frac{4Km}{c^2 \cdot r_{\text{min}}} = 2 \frac{r_K}{r_{\text{min}}}$ .

Une application numérique simple permettra de se rendre compte de l'ordre de grandeur des deux déviations :

1) déviation d'un rayon lumineux par le Soleil

La déviation est donnée par la formule  $\delta = \frac{2.r_G}{r_{\min}} = \frac{4GM}{c^2.r_{\min}}$  avec :

- célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458$  m/s ;
- constante universelle de la gravitation :  $G = 6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$  ;
- masse du Soleil :  $M_S = 1,9889 \cdot 10^{30}$  kg ;
- rayon du Soleil :  $R_S = 696\,000$  km.

Nous en déduisons la valeur de la déviation :

- $\delta = 8,49 \cdot 10^{-6}$  radians =  $0,48 \cdot 10^{-3}$  degrés = **1,75 seconde d'arc** pour  $r_{\min} = R_S$ .

2) déviation d'un rayon lumineux par un noyau d'atome composé de 10 nucléons

La déviation est donnée par la formule  $\delta = \frac{4K.m_{\text{noyau}}}{c^2.r_{\min}}$  avec :

- célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458$  m/s ;
- constante forte  $K = G/k \approx 6,67 \cdot 10^{27} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$  ;
- $m_{\text{nucléon}} = 1,674\,927\,28 \cdot 10^{-27}$  kg ;
- $r_{\text{nucléon}} \approx 1 \text{ fm} = 10^{-15}$  m.

Nous en déduisons la valeur de la déviation :

- $\delta = 0,49$  radians = **28,5 degrés** pour  $r_{\min} = 10 \text{ fm}$ .

La déviation d'un rayon lumineux par un noyau d'atome est environ 60 000 fois plus importante que la déviation du même rayon par le Soleil.

**L'ordre de grandeur de cette déviation est typiquement celle rencontrée dans les phénomènes de diffraction.**

## 5. Expérience proposée : effet Shapiro nucléaire

Selon la théorie proposée, l'effet Shapiro nucléaire serait similaire à l'effet Shapiro standard mais, au lieu que l'effet de retard soit dû à un corps massif tel que le Soleil, **il est dû à un noyau d'atome.**

L'autre différence fondamentale entre les deux expériences est qu'il faut utiliser la constante de gravitation universelle  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour l'effet Shapiro standard, alors qu'il faut utiliser la

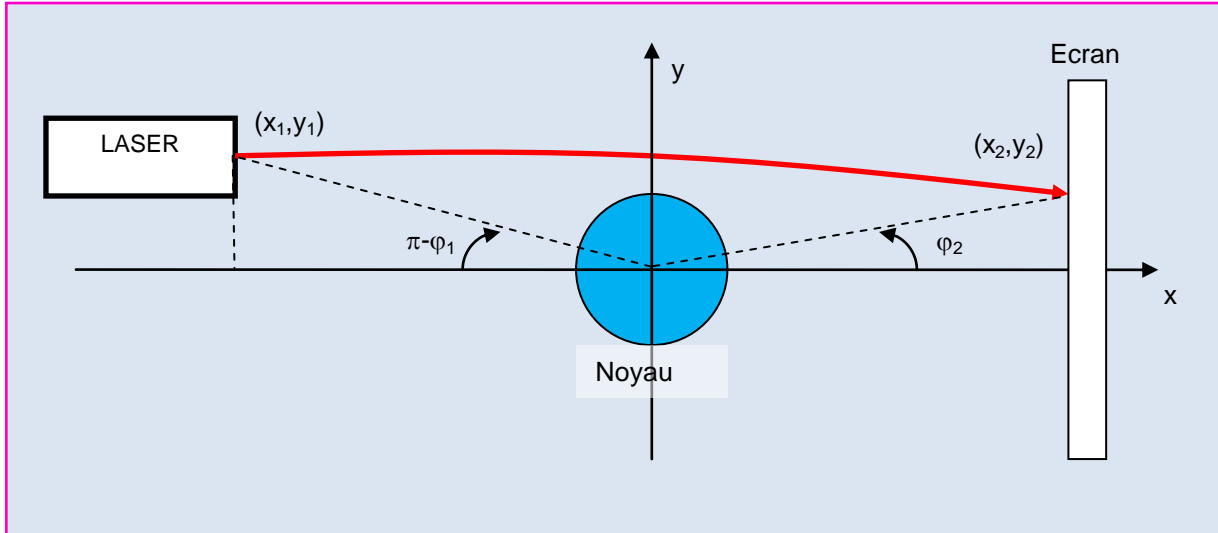
constante  $K = k.G$  pour l'effet Shapiro nucléaire où  $k = \frac{F_{\text{Nucléaire}}}{F_{\text{Gravitation}}} \approx 10^{38}$  désigne le rapport d'intensité entre la force nucléaire et la force de gravitation.

L'effet Shapiro nucléaire est donc  $k$  fois plus important que l'effet Shapiro standard. Cependant, l'effet Shapiro nucléaire est dû à l'influence d'un noyau d'atome de masse  $m$  auquel est associée la

constante  $r_K = \frac{2.K.m}{c^2}$  alors que l'effet Shapiro standard est dû à l'influence d'un corps massif de

masse  $M$  auquel est associée la constante  $r_G = \frac{2.G.M}{c^2}$ .

Nous supposons la présence d'un noyau d'atome et celle d'un LASER qui envoie son faisceau comme le montre la figure ci-dessous :



## 5.1 Expression de la vitesse de la lumière mesurée par un observateur situé à une distance « infinie » du noyau d'atome

### 5.1.1 Cas d'une vitesse parallèle localement aux lignes du champ nucléaire

Nous désignons par  $v_{//}(r, r)$  la vitesse à une distance  $r$  du centre du noyau mesurée par un observateur local (c'est-à-dire situé également à une distance  $r$  du centre du noyau).

Nous désignons par  $v_{//}(r, \infty)$  la vitesse à une distance  $r$  du centre du noyau mesurée par un observateur situé à une distance « infinie » du centre du noyau.

Nous avons alors la relation suivante :

$$v_{//}(r, r) = \frac{\Delta d_{//}(r)}{\Delta t(r)} = \frac{\frac{\Delta d_{//}(\infty)}{\sqrt{1 - \frac{2\alpha}{r}}}}{\Delta t(\infty) \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{r}}} = \frac{\Delta d_{//}(\infty)}{\Delta t(\infty)} \frac{1}{1 - \frac{2\alpha}{r}} = \frac{v_{//}(r, \infty)}{1 - \frac{2\alpha}{r}} \quad \text{avec } \alpha = \frac{K.m}{c^2},$$

que l'on peut écrire également :  $v_{//}(r, \infty) = \left(1 - \frac{2\alpha}{r}\right) v_{//}(r, r)$ .

### 5.1.2 Cas d'une vitesse perpendiculaire localement aux lignes du champ nucléaire

Nous désignons par  $v_{\perp}(r, r)$  la vitesse à une distance  $r$  du centre du noyau mesurée par un observateur local (c'est-à-dire situé également à une distance  $r$  du centre du noyau).

Nous désignons par  $v_{\perp}(r, \infty)$  la vitesse à une distance  $r$  du centre du noyau mesurée par un observateur situé à une distance « infinie » du centre du noyau.

Nous avons alors la relation suivante :

$$v_{\perp}(r, r) = \frac{\Delta d_{\perp}(r)}{\Delta t(r)} = \frac{\Delta d_{\perp}(\infty)}{\Delta t(\infty) \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{r}}} = \frac{v_{\perp}(r, \infty)}{\sqrt{1 - \frac{2\alpha}{r}}} \quad \text{avec } \alpha = \frac{K.m}{c^2},$$

que l'on peut écrire également :  $v_{\perp}(r, \infty) = \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{r}} v_{\perp}(r, r).$

En faisant l'approximation  $\alpha/r \ll 1$  nous pouvons écrire :  $v_{\perp}(r, \infty) \approx \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right) v_{\perp}(r, r).$

### 5.1.3 Cas d'une vitesse faisant un angle quelconque $\varphi$ par rapport aux lignes du champ nucléaire

En remarquant que :

- pour  $\varphi = 0$  et  $\varphi = \pi$  nous avons  $v(r, \infty) = v_{//}(r, \infty),$
- pour  $\varphi = \pi/2$  et  $\varphi = 3\pi/2$  nous avons  $v(r, \infty) = v_{\perp}(r, \infty),$

nous pouvons avoir l'intuition que la relation s'écrit dans le cas général :

$$v(r, \infty) = v(r, r) \left[ 1 - \frac{\alpha}{r} (1 + \cos^2 \varphi) \right].$$

Nous allons vérifier que cette expression est correcte à une approximation près.

Pour cela nous allons calculer le module au carré de la vitesse :

$$\begin{aligned} v_{//}^2(r, \infty) + v_{\perp}^2(r, \infty) &= v_{//}^2(r, r) \left(1 - \frac{2\alpha}{r}\right)^2 + v_{\perp}^2(r, r) \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)^2 \\ v^2(r, \infty) &= v_{//}^2(r, r) \left[ \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)^2 - 2 \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right) \frac{\alpha}{r} + \frac{\alpha^2}{r^2} \right] + v_{\perp}^2(r, r) \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)^2 \\ v^2(r, \infty) &= v^2(r, r) \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)^2 + v_{//}^2(r, r) \left[ -2 \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right) \frac{\alpha}{r} + \frac{\alpha^2}{r^2} \right] \quad (E10) \end{aligned}$$

Prenons maintenant le carré de l'expression  $v(r, \infty) = v(r, r) \left[ 1 - \frac{\alpha}{r} - \frac{\alpha}{r} \cos^2 \varphi \right]$  obtenue de façon intuitive :

$$v^2(r, \infty) = v^2(r, r) \left[ \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)^2 - 2 \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right) \frac{\alpha}{r} \cos^2 \varphi + \frac{\alpha^2}{r^2} \cos^4 \varphi \right].$$

En utilisant la relation  $v_{//}(r, r) = v(r, r) \cos \varphi$  nous obtenons :

$$v^2(r, \infty) = v^2(r, r) \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right)^2 + v_{//}^2(r, r) \left[ -2 \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right) \frac{\alpha}{r} + \frac{\alpha^2}{r^2} \cos^2 \varphi \right]. \quad (E11)$$

Toujours en utilisant l'approximation  $\alpha/r \ll 1$  nous pouvons négliger les termes en  $\frac{\alpha^2}{r^2}$  et donc nous vérifions bien que les deux expressions (E10) et (E11) sont identiques à l'ordre d'approximation choisi.

Remarque : pour des angles tels que  $\cos\varphi \approx 1$ , les deux expressions sont identiques jusqu'à l'ordre  $\frac{\alpha^2}{r^2}$ .

#### 5.1.4 Cas particulier de la vitesse de la lumière

Localement la vitesse de la lumière est toujours égale à  $c_0$ , c'est-à-dire que nous avons  $v(r, r) = c_0$  et donc nous pouvons écrire :

$$c(r, \infty) = c_0 \left[ 1 - \frac{\alpha}{r} (1 + \cos^2 \varphi) \right].$$

### 5.2 Calcul du retard Shapiro nucléaire

Sans présence du noyau d'atome, le temps de trajet **aller** du faisceau LASER est donné par la formule suivante :

$$T_0 = \frac{x_2 - x_1}{c_0}.$$

En présence du noyau d'atome le temps de trajet aller du faisceau LASER est donné par la formule suivante :

$$T = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{c(r, \infty)} \quad \text{avec} \quad c(r, \infty) = c_0 - \frac{c_0 \alpha}{r} (1 + \cos^2 \varphi) \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{K.m}{c_0^2} \quad \text{ce qui donne :}$$

$$T = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{c_0 \cdot \left[ 1 - \frac{\alpha}{r} (1 + \cos^2 \varphi) \right]}.$$

En utilisant le fait que  $\alpha/r \ll 1$  cette intégrale peut également s'écrire :

$$T \approx \frac{1}{c_0} \int_{x_1}^{x_2} \left[ 1 + \frac{\alpha}{r} (1 + \cos^2 \varphi) \right] dx.$$

Ce terme donne la durée complète du trajet de la lumière en présence du noyau d'atome.

L'écart avec la durée sans présence du noyau est donné par la formule suivante :

$$\Delta T = T - T_0 \approx \frac{\alpha}{c_0} \int_{x_1}^{x_2} \frac{1 + \cos^2 \varphi}{r} dx = \frac{\alpha}{c_0} \left[ \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{r} dx + \int_{x_1}^{x_2} \frac{\cos^2 \varphi}{r} dx \right].$$

En utilisant la relation  $\cos \varphi = \frac{x}{r}$  nous obtenons :

$$\Delta T \approx \frac{\alpha}{c_0} \left[ \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{r} + \int_{x_1}^{x_2} \frac{x^2}{r^3} dx \right]$$

En posant  $f(x) = \ln(x+r)$  et en utilisant la relation  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  nous avons :

$$f'(x) = \frac{1 + \frac{dr}{dx}}{x+r} = \frac{1 + \frac{x}{r}}{x+r} = \frac{1}{r}.$$

En posant  $g(x) = \frac{x}{r}$  nous avons :  $g'(x) = \frac{1}{r} - x \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{r} - \frac{x^2}{r^3}.$

Finalement nous avons :

$$\Delta T \approx \frac{\alpha}{c_0} \int_{x_1}^{x_2} (2.f'(x) - g'(x)) dx \approx \frac{\alpha}{c_0} [2.f(x_2) - 2.f(x_1) - g(x_2) + g(x_1)]$$

$$\Delta T \approx \frac{\alpha}{c_0} \left[ 2 \cdot \ln \left( \frac{x_2 + r_2}{x_1 + r_1} \right) - \frac{x_2}{r_2} + \frac{x_1}{r_1} \right]$$

Cette formule peut également s'écrire :  $\Delta T \approx \frac{\alpha}{c_0} \left[ 2 \cdot \ln \left( \frac{(r_2 + x_2)(r_1 - x_1)}{y_1^2} \right) - \frac{x_2}{r_2} + \frac{x_1}{r_1} \right]$

En utilisant de nouveau la relation  $\cos \varphi = \frac{x}{r}$  nous obtenons finalement :

$$\Delta T \approx \frac{\alpha}{c_0} \left[ 2 \cdot \ln \left( \frac{r_1 \cdot r_2}{y_1^2} (1 - \cos \varphi_1)(1 + \cos \varphi_2) \right) + \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2 \right] \text{ avec } \alpha = \frac{K \cdot m}{c_0^2}.$$

Cas où  $\varphi_1 \approx \pi$  et où  $\varphi_2 \approx 0$  (c'est-à-dire  $\cos \varphi_1 \approx -1$  et  $\cos \varphi_2 \approx 1$ )

$$\Delta T \approx \frac{2 \cdot \alpha}{c_0} \left[ \ln \left( 4 \frac{r_1 \cdot r_2}{r_{\min}^2} \right) - 1 \right] \text{ en remarquant que } y_1 \approx r_{\min}.$$

### 5.3 Ordre de grandeur du retard Shapiro nucléaire

Nous donnons ci-dessous le résultat du décalage temporel en prenant les valeurs suivantes :

- constante forte  $K = k \cdot G \approx 6,67 \cdot 10^{27} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  ;
- $c_0 = 299792458 \text{ m/s}$  ;
- $m_{\text{nucléon}} = 1,674 \, 927 \, 28 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ;
- $N_{\text{nucléons}} = 100$  d'où  $m_{\text{noyau}} \approx 1,67 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ .

En prenant  $r_1 = r_2 = 0,5 \text{ m}$  et  $r_{\min} = 10^{-10} \text{ m}$  nous obtenons :

$$\Delta T \approx \frac{2 \cdot K \cdot m}{c_0^3} \left[ \ln \left( 4 \frac{r_1 \cdot r_2}{r_{\min}^2} \right) - 1 \right] \approx 3,74 \cdot 10^{-21} \text{ s}.$$



Ce retard sur la durée du trajet de la lumière est bien trop faible pour être mesuré même par les horloges atomiques les plus performantes (les meilleures horloges au césium (en 2013) parviennent à une stabilité de l'ordre de  $1 \times 10^{-14} \text{ s} \cdot \text{s}^{-1}$ , et atteignent  $2 \times 10^{-16} \text{ s} \cdot \text{s}^{-1}$  après plusieurs jours de fonctionnement).

Nous proposons donc de faire faire à la lumière en grand nombre d'aller-retour dans la durée  $T_{\text{totale}} = 1$  seconde.

Le nombre de trajets effectués par la lumière est donné par la formule :

$$N = c_0 \frac{T_{\text{total}}}{x_2 - x_1} \approx c_0 \frac{T_{\text{total}}}{r_2 + r_1} = c_0.$$

L'effet de retard sera ainsi multiplié par N.

Il est également possible d'optimiser les paramètres suivants pour que l'effet soit le plus important possible :

- augmenter  $N_{\text{nucléons}}$  c'est-à-dire utiliser un noyau d'atome de masse la plus importante possible
- diminuer l'écart  $dx = x_2 - x_1$  pour augmenter le nombre N de trajets de la lumière
- diminuer la distance radiale  $r_{\text{min}}$  (mais cela a un effet réduit de par le logarithme naturel).

Enfin, l'expérience nécessitera d'avoir une bonne précision sur les paramètres participant à la formule du retard, en particulier les distances.

C'est pourquoi nous donnons le tableau suivant en incluant des variations sur les paramètres :

$N_{\text{nucléons}}$	$x_1$	$x_2$	$r_{\text{min}}$	$N \cdot \Delta T$
100	-0,5 m	0,5 m	1 fm	<b>1,69 ps</b>
100	-0,5 m	0,5 m	$10^{-10}$ m	<b>1,12 ps</b>
100	-0,1 m	0,1 m	10 $\mu\text{m}$	<b>2,34 ps</b>
100	-0,1 m	0,1 m	0,1 mm	<b>1,77 ps</b>
100	-0,1 m	0,1 m + 1 mm	0,1 mm	<b>1,76 ps</b>
50	-0,1 m	0,1 m	1 $\mu\text{m}$	<b>1,45 ps</b>

## 6. Conclusion

**L'ordre de grandeur du retard global est de  $10^{-12}$  s donc largement à la portée des meilleures horloges atomiques.**

Il semble donc raisonnable de vouloir réaliser cette expérience.

Un résultat positif apporterait du crédit à la théorie proposée.