

Une explication de la nature entropique de la masse utilisant la physique classique

Nicolas Poupart, Chercheur Indépendant (2013)
12269 rue Lévis, Mirabel, Québec, Canada (J7J 0A6)
(450) 939-2167
nicolas.poupart@yahoo.fr

Introduction

Après un siècle de succès de la relativité, il est maintenant indiscutable que de l'énergie est stockée dans la matière. La somme des masses des produits de la désintégration de l'atome d'uranium est bel et bien inférieure à la masse de ce dernier et l'énergie dégagée est bel et bien proportionnelle à la relation masse-énergie $E = mc^2$.

L'équivalence masse-énergie devrait logiquement s'appliquer à toute échelle. Au niveau chimique, que de l'énergie soit stockée sous forme de masse après une réaction endothermique est un fait parfaitement anecdotique, permettant de rappeler que Lavoisier avait finalement tort, bien qu'en pratique ceci soit toujours vrai. Au niveau mécanique, ce phénomène semble tellement négligeable qu'il est difficile à conceptualiser. Au niveau de la mécanique galactique, ce phénomène semble être également tellement insignifiant que les astrophysiciens s'appuient habituellement uniquement sur la mécanique Newtonienne. Le but de cet article est de démontrer que ce n'est pas le cas et qu'après avoir atteint une grandeur minimale à l'échelle de la mécanique courante, l'importance du ratio de masse-énergie remonte massivement avec la taille du système considéré.

Cette masse-énergie se trouve dans le champ d'énergie potentielle, le fait que celui-ci soit resté si longtemps invisible et intangible est un mystère, il est par contre possible de citer ici Léon Brillouin^{1,2}

« Toute énergie possède une masse, mais il semble qu'on ait omis de discuter le cas de l'énergie potentielle. Les fondateurs de la Relativité n'en parlent guère. En fait l'énergie correspondante est répandue dans tout l'espace, et la masse n'en peut être exactement localisée. La symétrie de la distribution suggère de diviser la masse entre les diverses particules en interaction. Il faut donc, dès la Relativité classique, réviser les valeurs des masses. Bien avant les quanta, la *renormalisation* est indispensable (et fut omise) dans la Relativité d'Einstein. »

Hypothèses

1. Il faut interpréter la relation d'équivalence masse-énergie $E = mc^2$ de la façon suivante : *aucun système physique ne peut perdre ou gagner de la masse sans perte ou gain d'énergie et réciproquement*. L'énergie étant ici composée de particules d'interaction possédant de l'énergie mais sans la masse associée comme le photon, le gluon ou l'hypothétique graviton.
2. Rien ne permet de croire que l'énergie potentielle du champ gravitationnel ne possède pas de masse. D'ailleurs le boson de Higgs, médiateur probable au cœur du mécanisme de la gravitation, est très lourd.

Examinons l'exemple de l'absorption d'un corps par un trou noir dans le cadre de ces hypothèses. Il est connu qu'un trou noir massif de masse M attirera une masse m_0 , initialement au repos, située à une distance d de l'horizon du trou noir défini par le rayon de Schwarzschild. L'énergie cinétique atteinte par cette masse avant de disparaître derrière l'horizon est de $E = \frac{1}{2} m_0 c^2$ ce qui correspond à une augmentation de masse de 50%. La vitesse du corps est calculée par l'équation relativiste de la masse $3m_0/2 = m_0/[1 - (v/c)^2]^{1/2}$ soit $v/c = (5/9)^{1/2} = 0.745$. Curieusement, en considérant l'énergie potentielle comme non-pesante, un observateur externe du système mesurerait un accroissement de la masse totale du système de $M + m_0$ à $M + 3m_0/2$ puis le verrait se stabiliser après avoir émis 10% de l'énergie cinétique sous forme de rayonnement. Ainsi, un système physique fondamental pourrait donc connaître une augmentation de sa masse sans aucun apport d'énergie extérieur ; cette situation est en désaccord avec la relation d'équivalence masse-énergie. La solution la plus simple serait de considérer que la masse était simplement stockée dans le champ d'énergie potentielle gravitationnelle et fut progressivement transférée au système.

Le stockage de l'énergie potentielle dans les systèmes gravitationnels de tailles courantes

Prenons maintenant l'exemple d'un système de plusieurs boules, parfaitement isolées et flottant dans l'espace, ne possédant aucune vitesse relative et disposées à quelques mètres l'une de l'autre. Il est connu qu'après un certain temps, la gravité réunira ces boules en une boule compacte et que cet état est celui de plus basse énergie^{i,3}. De plus, de l'énergie est dégagée sous forme de chaleur par le système lors de la réunion inélastique des boules les unes sur les autres. Il est également connu que le système de la boule compacte est nécessairement moins lourd que le système initial car il y a émission de rayonnement pour atteindre cet état.

L'énergie potentielle d'un système de n boules de masse m_i à une distance r_{ij} l'une de l'autre est donnée par la somme des $(n^2 - n) / 2$ relations d'énergie potentielle individuelle entre les boules :

$$E = - \sum_{i=1, j=i+1}^{n-1, n} G m_i m_j / r_{ij}$$

Pour connaître la perte d'énergie de ce système sous forme de rayonnement lorsqu'il atteindra l'état de pseudo-boule compacte, il faudrait connaître cet état. La seule solution exacte serait donnée par une simulation du système. Même dans le cas où tous les corps sont sphériques, de même masse et de même rayon, un état final compact sphérique composé de boules n'est pas si simple à calculer.

Postulons que le rayon R de la boule finale de masse M_0 est connu, que n est très grand et que pour toute boule $m_i \ll M_0$. De plus, le centre de masse de la boule finale est nécessairement le même que celui du système initial. Imaginons maintenant l'état presque final de masse $M_0 - m_i$ composé de la réunion de toutes les boules sauf m_i qui est conservé à sa place. Le centre de masse de l'état presque final est pratiquement celui de l'état final mais légèrement séparé de lui sur la droite rejoignant m_i . De même, les masses $M_0 - m_i$ et M_0 sont pratiquement les mêmes. Soit d_i la distance de m_i au centre de masse du système. La part de m_i dans la différence d'énergie entre l'état final et l'état initial est donc $\Delta E_i = GM_0 m_i / R - GM_0 m_i / d_i = GM_0 m_i (d_i - R) / d_i R$. Par conséquent, la quantité totale d'énergie perdue en radiation (entropie) est donnée par l'équation suivante :

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n GM_0 m_i (d_i - R) / d_i R$$

Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire de considérer que le système est bel et bien conservatif puisque le champ gravitationnel est conservatif. Posons w_i le travail consistant à déplacer une boule m_i de la surface de l'état compact final à sa position initiale. Par la loi de la conservation de l'énergie, en considérant le même travail effectué à une autre étape du processus (état intermédiaire) et l'énergie nécessaire w'_i différent de w_i alors la différence $\Delta w_i = w_i - w'_i$ a dû être dépensée ou économisée lors du passage de l'état intermédiaire à l'état initial. La règle suivante s'applique toujours : *si effectuer un travail A avant un travail B facilite le travail B c'est que le travail A fut plus difficile de même si effectuer un travail A avant un travail B rend le travail B plus difficile c'est que le travail A fut plus facile ; ceci est également vrai pour des travaux effectués simultanément*. Il est également nécessaire d'utiliser la symétrie de permutation de particules identiques (les boules) pour accepter le fait que le déplacement de m_i vers la surface de l'état final est strictement équivalent à sa position naturelle au sein de la pseudo-sphère en laissant le système évoluer naturellement. L'expérience de pensée est beaucoup plus simple avec des boules de liquide, l'état final étant une sphère homogène de masse M_0 .

Le lien avec la théorie des trous noirs semble évident ; l'entropie des trous noirs est nécessairement proportionnelle à leurs surfaces car il s'agit tout simplement de l'application du principe de Carnot au phénomène de la gravitation. Tout ceci permet de mettre en évidence pourquoi les systèmes physiques de tailles courantes ne possèdent pas beaucoup de masse-énergie induite par l'énergie potentielle gravitationnelle ; la masse induite $M = \Delta E / c^2$ est petite ceci étant causé par le dénominateur c^2 . Par contre, la masse-énergie induite augmente à l'inverse du rayon de l'état final compact d'énergie minimale.

i Il faut voir ici le principe de Carnot mais également la théorie de la thermodynamique des trous noirs et le principe holographique qui en découle. Le pas décisif fut réalisé par Erik Peter Verlinde ayant déduit les lois de Newton du principe holographique ; dans un système formel, les théorèmes peuvent toujours être réutilisés comme axiomes.

Le stockage de l'énergie potentielle dans les systèmes de taille galactique

La grande différence entre les systèmes galactiques et les systèmes mécaniques de tailles courantes est que l'état compact d'énergie minimale est un trou noir ; le rayon R est défini par l'équation de Schwarzschild : $R_s = 2GM_0/c^2$. Le trou noir illustre que c'est l'existence des autres forces à l'échelle des systèmes mécaniques de tailles courantes qui, s'opposant à la gravité, empêchent l'énergie potentielle du champ gravitationnel de devenir significatif. Dans ce cas, il est pratique de décrire le rapport de la masse-énergie induite à la masse inerte de la façon suivante $\Delta E_i/m_i c^2 = GM_0/R_s c^2 - GM_0/d_i c^2$ ce qui donne $m_i'/m_i = 1/2 - GM_0/d_i c^2$. Ici, le second terme est négligeable et correspond à des valeurs de basse énergie. La somme de l'énergie induite de toutes les masses ($\sum m_i' = \sum m_i/2$) donne $M'/M_0 = 1/2$. Par conséquent, il est nécessaire de considérer qu'au moins un tiers de la masse totale des systèmes galactiques est sous forme de masse-énergie induite.

L'auto-induction de la masse

Le problème majeur avec le phénomène de l'énergie potentielle gravitationnelle générant de la masse est que cette nouvelle masse doit également générer de l'énergie potentielle gravitationnelle et donc de la masse additionnelle et ainsi de suite. Ce phénomène est inconnu des autres champs comme le champ électrique générant également de la masse induite par l'énergie potentielle électrique. Il est également important de remarquer que contrairement au champ magnétique induit par la variation du champ électrique, la masse induite est contrainte à ne pas croître trop rapidement car sinon elle tendrait vers l'infini. L'équation de la masse induite, sans le terme de basse énergie, permet d'obtenir $m_i' = m_i/2$. Ainsi, curieusement, la masse induite par une partie du système est indépendante de la masse totale de ce système et il est donc facile de calculer la masse totale d'une partie m_0 qui est donnée par $m = \sum m_0 (1/2)^i = 2m_0$. Par conséquent, la somme de l'ensemble des parties donne $M = 2M_0$. Il semble donc nécessaire de considérer qu'au moins la moitié, par le principe d'auto-induction, de la masse totale des systèmes galactiques est sous forme de masse-énergie induite.

Il serait intéressant de connaître sous quelle contrainte l'énergie potentielle pourrait diverger, pour ce faire, introduisons un facteur d'auto-induction Φ , par conséquent $m = \sum m_0 \Phi^i$ et cette série géométrique converge vers $m = m_0/(1-\Phi)$ et donc $M = M_0/(1-\Phi)$. Cependant, cette série se met à diverger lorsque Φ tend vers 1 et produit une masse négative pour des valeurs supérieures à 1 et une masse inférieure à la masse inerte pour des valeurs inférieures à 0, donc $\Phi \in [0,1[$. Par contre, puisqu'une contraction de la masse relativiste ne signifie qu'une perte d'énergie alors restons ouvert à $\Phi \in]-1,1[$ qui sont les bornes de convergence de la série géométrique.

Relation entre l'auto-induction et le moment cinétique

L'introduction du facteur d'auto-induction Φ dans la formule originale donne $m_i'/m_i = 1/2 = \Phi = (GM_0/c^2)(2\Phi/R_s)$. Ici, le seul coefficient variable est R_s et c'est lui qui est modifié par le facteur d'auto-induction. Par conséquent, la limite absolue du rayon avec $\Phi \in [0,1[$ est $R_h = R_s/2\Phi$ soit $R_h \in]\frac{1}{2}R_s, \infty[$. Cette limite est exactement celle calculée⁴ par Kerr à l'aide de la théorie de la relativité générale. Dans le cas d'un trou noir de Kerr, le rayon de l'horizon des événements R_h est :

$$R_h = \frac{R_s}{2\Phi} = \frac{R_s}{2} [1 + \sqrt{1-a^2}]; a = \frac{Jc}{GM^2} \quad \text{donc} \quad \Phi = \frac{1}{1 + \sqrt{1-a^2}} \quad \text{et} \quad a = \sqrt{\frac{2}{\Phi} - \frac{1}{\Phi^2}}$$

Ici $a \in [0,1[$ représente le spin du trou noir, J est son moment cinétique et M sa masse.

Ces équations font le lien entre la masse induite et la vitesse angulaire d'un trou noir et, par la loi de la conservation du moment cinétique, au système équivalent d'énergie potentielle supérieure. Pour un spin donné, il est possible de calculer l'auto-induction aussi bien que le ratio de la masse totale à la masse inerte :

a	Φ	M/M ₀	Valeurs calculées ou requises pour :
0.44	0.53	2.11	Sagitarium A* : Kato, Miyoshi, Takahashi, Negoro, Matsumoto ⁵
0.97	0.80	5.11	La voie lactée compactée dans un trou noir pour expliquer la matière noire.
0.99995	0.99	101	Certains amas compactés dans un trou noir pour expliquer la matière noire.

L'induction de l'énergie noire

L'énergie noire pourrait bien également être le produit du champ de potentiel gravitationnel. Le terme négatif de l'équation fondamentale de la masse-énergie induite ($\Phi = m'/m = \Delta E/mc^2 = GM_0/R_h c^2 - GM_0/dc^2$) qui était négligeable au niveau galactique devient important à l'échelle supérieure. Le tableau suivant montre la valeur de ce terme à différentes échelles :

Objet	Masse (kg)	Rayon (m)	-GM/dc ²
Soleil	2×10^{30}	7×10^8	-2×10^{-6}
Voie lactée	2×10^{42}	2×10^{21}	-7×10^{-7}

La valeur de d utilisée est le rayon du corps, cependant, pour des coquilles sphériques extrêmement proches du centre de masse du système, la valeur de Φ pourrait être négative.

L'étude de l'univers dans son ensemble est extrêmement intéressante. En considérant la densité critique ρ_c , le rayon $r = c/H$ et la masse de l'univers stationnaire de Fred Hoyle⁶ $M_0 = 4/3\pi\rho_c r^3$ et notre terme GM_0/rc^2 alors :

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}, \quad M_0 = \frac{4\pi\rho_c c^3}{3H^3} \quad \text{et donc} \quad M_0 = \frac{c^3}{2GH} \quad \text{et donc} \quad GM_0/rc^2 = \frac{1}{2}$$

Il est remarquable que le trou noir équivalent à l'univers ne possède pas de spin, ce qui est consistant avec le principe de Mach. Il est possible de calculer le terme négatif de l'équation en postulant que l'univers est homogène et en posant la position moyenne de la masse à $r/2$ ce qui donne $2GM_0/rc^2$ soit 1 donc $\Phi = -1/2$. Puisque la raison d'une série géométrique peut être négative, la brisure de symétrie qui survient lorsque $\Phi < 0$ est plus facilement traitable en introduisant pas de valeur absolue dans notre équation, dans ce cas $M = M_0/(1-\Phi) = 2M_0/3$ mais le sens physique à donner à une série alternée est étrange. Il faut considérer que si de la masse-énergie positive induit de la masse-énergie négative alors celle-ci induit à son tour de la masse-énergie positive et ainsi de suite.

En considérant que le résultat $2M_0/3$ s'interprète comme une contraction de la masse-inerte et que comme avec un Φ positif il s'agit de la masse totale alors : $M = M_0 + \bar{M}_0/3 = 2M_0/3$. Par contre, en considérant que la masse inerte M_0 est seulement la masse baryonique alors il faut multiplier cette masse par un facteur k de matière noire soit kM_0 donc $M/kM_0 = 1/(1-k\Phi)$. Avec $k=4$ ceci donne $M = kM_0 + 2k\bar{M}_0/3 = kM_0/3$ soit 66.7% d'énergie noire, 25% de matière noire et 8.3% de matière baryonique. Avec $k=5$ ceci donne $M = kM_0 + 5k\bar{M}_0/7 = 2kM_0/7$ soit 71.4% d'énergie noire, 22.8% de matière noire et 5.7% de matière baryonique. Ces résultats sont très proches de l'énergie sombre déduite des données du satellite Plank⁷ qui est évaluée à 68.3% et du ratio matière noire sur matière baryonique évalué entre 4 et 6 selon les différentes mesures. Ces équations semblent donc permettre d'établir une relation fonctionnelle entre la quantité d'énergie noire et le ratio de matière noire à la matière baryonique. Tout ceci laisse croire que possiblement $\Phi \in]-\infty, 1[$ et par symétrie $\Phi \in]-\infty, \infty[$ avec une singularité à $\Phi = 1$.

Comparaison avec la relativité générale

Le facteur d'auto-induction est logiquement nécessaire : si un corps de masse m_0 soumis à un certain facteur physique induit directement une masse m' alors cette nouvelle masse induite, soumise au même facteur physique, doit également induire une masse proportionnelle. Ce phénomène semble comparable à la dilatation de la masse produite par la vitesse relativiste. Il est possible d'écrire $\Phi(d) = GM_0/R_h c^2 - GM_0/dc^2 = R_s/2R_h - R_s/2d$ mais le terme $R_s/2R_h$ est un terme de renormalisation dépendant de la taille et du moment cinétique du système et est indépendant de d , par conséquent, il est pratique de poser $\omega = 1 - R_s/2R_h$, $\phi = \phi(d) = R_s/2d$ et donc $\Phi(d) = (1-\omega) - \phi(d)$, ce qui donne $m_0/m_d = 1 - \Phi = \omega + \phi$. La conjecture de l'équivalence entre la masse pesante et la masse inertielle pousse à poser l'équivalence suivante :

$$\frac{m_0}{m_d} = \frac{t_0}{t_d} = \frac{l_d}{l_0} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \sqrt{(\omega + \phi)^2} = \sqrt{\omega^2 + 2\omega\phi + \phi^2}; \quad 1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = (\omega + \phi)^2 = \omega^2 + 2\omega\phi + \phi^2$$

En posant $R_h \gg R_s$ alors $\omega \rightarrow 1$, ce qui simplifie l'équation pour l'échelle de la mécanique stellaire, ceci permettant de comparer l'équation de masse-énergie à la métrique de Schwarzschild :

$$\frac{m_0}{m_d} = \frac{t_0}{t_d} = \frac{l_d}{l_0} = 1 + \phi = 1 + \frac{R_s}{2d} = \sqrt{1 + 2\phi + \phi^2} = \sqrt{1 + \frac{R_s}{d} + \left(\frac{R_s}{2d}\right)^2} \text{ versus } \frac{t_d}{t_0} = \frac{l_0}{l_d} = \sqrt{1 - \frac{R_s}{d}}$$

Ces équations, bien que différentes, se comportent numériquement de façons semblables. En effet, $1 + R_s/2d$ est le développement au deuxième ordre en série de MacLaurin de $(1 - R_s/d)^{-1/2}$:

$\frac{R_s}{d}$	$1 + \frac{R_s}{2d}$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{R_s}{d}}}$	Différences Relatives
1 / 2	1.2500	1.4142	1.2×10^{-1}
1 / 10	1.0500	1.0541	3.4×10^{-3}
1 / 100	1.0050000	1.0050378	3.8×10^{-5}
1 / 1000	1.0005000000	1.0005003753	3.8×10^{-7}
1 / 987456	1.0000005063517	1.0000005063521	3.8×10^{-13}

Ici, plus l'espace est plat plus les deux équations convergent vers la même valeur, ce qui est normal puisque la métrique de Schwarzschild utilise l'«approximation du champ faible» et que notre simplification $R_h \gg R_s$ fait la même chose. La déduction d'un théorème fondamental de la relativité générale sans passer par la métrique de Schwarzschild est un argument fort en faveur de la théorie de l'auto-induction de la masse. Puisque la courbure de l'espace-temps prédite par l'auto-induction et celle prédite par la relativité générale sont parfaitement en accord à notre échelle expérimentale, il n'est pas possible de les distinguer à cette échelle. De plus, la variation de la masse produite par les corps massifs est totalement insignifiante à notre échelle expérimentale et ne semble pas mesurable.

En posant $R_h = R_s$ alors $\omega = 1/2$, ce qui normalise l'équation pour l'échelle des trous noirs statiques, ce qui donne : $1/2 + R_s/2d$. Il n'y a pas ici de singularité avant $d = 0$ et il n'y a donc pas de trou de vers tel que prédit par la géométrie de Kruskal-Szekeres. De plus, la dilatation du temps et la contraction des longueurs est infiniment moindre à courte distance de l'horizon. Ici, l'horizon d'un trou noir est un lieu sans aucune distorsion de l'espace-temps.

Le cas où l'auto-induction est élevée, conséquence du facteur entropique lorsque le corps est en rotation rapide et possède assez de masse pour s'écrouler dans un trou noir de Kerr, rend la comparaison beaucoup plus difficile. En effet, il est difficile d'aborder le problème de la contraction des corps avec l'auto-induction et la complexité de la relativité générale est le plus sérieux handicap de cette théorie. La simplicité de la théorie de l'auto-induction entropique permet au contraire d'utiliser les méthodes classiques de traitement du champ gravitationnel ϕ en utilisant l'équation de Laplace ou les polynômes de Legendreⁱ, les géodésiques sont simplement calculées en utilisant le Lagrangien relativiste :

$$L = -m_0 c^2 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = -m_0 c^2 (\omega + \phi); E = \frac{m_0 c^2}{\omega + \phi}$$

Ici, le Lagrangien relativiste L est parfaitement consistant avec notre théorie et la masse totale produite par le corps libre m_0 , calculée de façon relativiste, est bel et bien $m = E/c^2 = (\mathbf{p} \cdot \mathbf{v} - L)/c^2 = m_0 / (\omega + \phi)$.

i $(\partial_1^2 + \partial_2^2 + \partial_3^2) V = G \int_M (\partial_1^2 + \partial_2^2 + \partial_3^2) r^{-1} dM = 0 \quad V(\vec{x}) = -\frac{G}{|\vec{x}|} \int_{n=0}^{\infty} \left(\frac{|\vec{r}|}{|\vec{x}|}\right)^n P_n(\cos \theta) dm(\vec{r})$

Trou noir et sphère relativiste

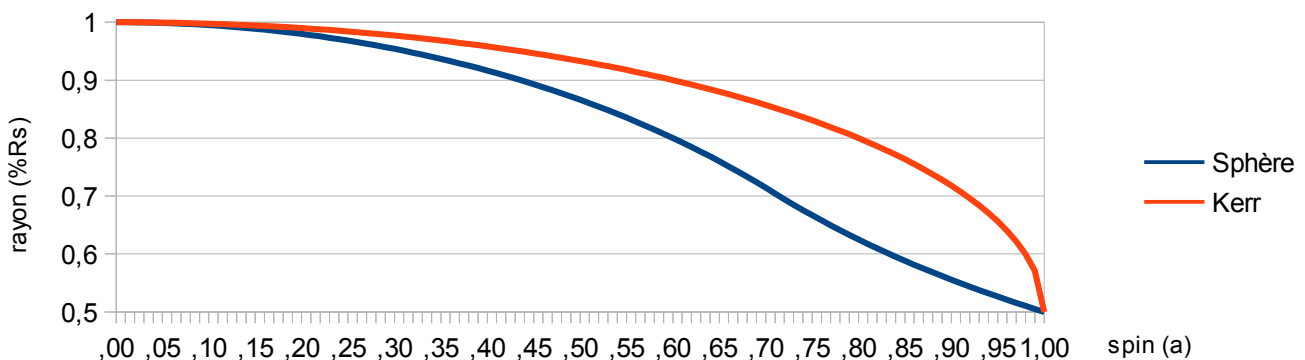
La théorie exposée présentement dérive de la physique Newtonienne, du théorème fondamental de l'équivalence masse-énergie de la relativité restreinte et du théorème du rayon limite de Schwarzschild qui peut également être dérivé de la physique Newtonienne ; il suffit de poser que la vitesse de libération $V = (2GM/Rs)^{1/2}$ est égale à c ce qui donne bien : $R_s = 2GM/c^2$. La déviation de la lumière produite par un corps massif est donnée par les deux équations de Newton $F = ma$ et $F = GMm/R^2$ soit $a = GM/R^2$. Ainsi, il est parfaitement clair que la lumière est attirée par un corps massif et ceci indépendamment du fait que la masse du photon soit nulle ; la seule chose que disent les équations de Newton est que deux photons ne s'attirent pas mutuellement. Par conséquent, les phénomènes des trous noirs et des lentilles gravitationnelles sont des conséquences nécessaires de la théorie Newtonienne. Il est important de rappeler ce fait car bien des auteurs le négligent ; une théorie de la gravitation relativiste ne nécessite qu'une modification correcte du Lagrangien.

Présentement, la théorie de la gravitation entropique auto-inductive (GEST, Gravitational Entropic Self-inductive Theory) utilise les caractéristiques des trous noirs de Kerr déduites de la théorie de la relativité générale. Cette situation est déplaisante et mérite d'être corrigée en utilisant la mécanique classique et la relativité restreinte. La seule hypothèse nécessaire est que le trou noir en rotation est équivalent à une sphère rigide de rayon R_s et donc qu'il est entièrement décrit par une masse M et une vitesse angulaire ω ou un spin $a = \omega/\omega_{\max}$. Puisque la sphère est un empilement de disques, le disque équatorial, tournant plus rapidement, détermine à lui seul le rayon minimal.

Dans un cercle de rayon R et de circonférence $C = 2\pi R$ en rotation autour de son centre à une vitesse angulaire ω , toute longueur différentielle ∂C de la circonférence peut être considérée comme se déplaçant linéairement à une vitesse $v = \omega R$ et est donc contractée pour un observateur inertiel extérieur au cercle par un facteur relativiste $\partial C'/\partial C = (1-v^2/c^2)^{1/2}$. Ainsi, pour l'observateur inertiel, la circonférence totale est réduite par ce même facteur $C'/C = (1-v^2/c^2)^{1/2}$ et il en est de même pour la mesure de son rayon $R'/R = (1-v^2/c^2)^{1/2}$. Il faut bien comprendre, ici, qu'il s'agit d'un anneau mince en rotation autour de son centre de masse et qu'il n'existe donc aucune réalité physique au rayon ; la mesure du rayon est simplement déduite de la circonférence.

Un disque de rayon R_s peut être considéré comme un ensemble de cercles imbriqués de rayon $R < R_s$ et la vitesse angulaire maximale est déterminée par la vitesse maximale du cercle extérieur soit $\omega_{\max} = c/R_s$. La contraction maximale de tous les cercles survient quand la vitesse angulaire du disque est ω_{\max} . Ainsi, le rayon relativiste R_{rel} du rayon au repos R lorsque le disque possède un spin $a = \omega/\omega_{\max}$ est $R_{\text{rel}}(R, a) = R(1-\omega^2 R^2/c^2)^{1/2} = R(1-\omega^2 R^2/\omega_{\max}^2 R_s^2)^{1/2} = R(1-a^2 R^2/R_s^2)^{1/2}$. Le calcul de la dérivée donne $\partial R_{\text{rel}}(R, a)/\partial R = (1-a^2 R^2/R_s^2)^{-1/2} - a^2 R^2/[R_s^2(1-a^2 R^2/R_s^2)^{3/2}]$ et en posant $\partial R_{\text{rel}}(R, a)/\partial R = 0$ alors $R = |R_s/a\sqrt{2}|$ et $R_{\text{rel}}(R_s/a\sqrt{2}, a) = R_s/2a$.

La contraction maximale du disque lorsque $a = 1$ est $R_s/2$ mais ce qui est étonnant est que les cercles de rayons $R \in [R_s, R_s/\sqrt{2}[$ se retrouvent contractés à l'intérieur du disque et la frontière est en fait constituée du cercle de rayon $R_s/\sqrt{2}$ du disque au repos. Ces équations révèlent que pour $a \in [0, 1/\sqrt{2}[$ c'est le cercle extérieur de rayon R_s au repos qui détermine le rayon du disque par une contraction $R \in [R_s, R_s/\sqrt{2}[$ donnée par $R = R_s(1-a^2)^{1/2}$ alors que lorsque $a \in [1/\sqrt{2}, 1]$ le rayon du disque est déterminé par $R \in [R_s/\sqrt{2}, R_s/2]$ donné par $R = R_s/2a$. Cette relation est à mettre en comparaison avec la relation de Kerr $R = \frac{1}{2}R_s[1+(1-a^2)^{1/2}]$:



Conclusion

Cet article expose une théorie qui est l'extension logique de deux hypothèses parfaitement consistantes avec la physique moderne. Cette théorie est dérivée de la physique Newtonienne, du théorème fondamental de l'équivalence masse-énergie de la relativité restreinte et du théorème du rayon limite de Schwarzschild qui peut également être dérivé de la physique Newtonienne. Pour rester consistante, cette théorie doit introduire le concept d'auto-induction du champ d'énergie potentielle gravitationnelle. Ce phénomène d'auto-induction est utilisé pour calculer une limite absolue de contraction des corps parfaitement en accord avec notre connaissance de la dynamique des trous noirs dérivée de la théorie de la relativité générale.

Cette théorie produit naturellement, sans l'introduction d'aucune constante, de la matière noire et de l'énergie noire à l'échelle galactique et universelle respectivement. De plus, l'ordre de grandeur prédite par la théorie pour la quantité de matière noire et d'énergie noire semble en accord avec les mesures actuelles. La troublante relation de couplage entre la matière ordinaire et la matière noire⁸ tend à faire croire qu'une relation d'induction, telle que présentée, existe bel et bien dans le phénomène. Cette théorie, contrairement à une modification ad hoc de la dynamique⁹, permet d'expliquer l'origine de cette renormalisation et de l'intégrer de façon consistante à la physique. Le développement de la théorie de la sphère relativiste, comme le calcul de son moment d'inertie, permettrait probablement de relier la mécanique galactique à celle des trous noirs et de calculer précisément l'auto-induction de la masse galactique. Présentement, nous ne pouvons qu'esquisser que l'éclatement des galaxies, par la force centrifuge, est empêché par un mécanisme de rétroaction négative ; plus qu'une galaxie est en rotation rapide, plus qu'elle génère de la masse la ralentissant par inertie et contrebalançant la force centrifuge par gravité.

En utilisant la conjecture de l'égalité entre la masse pesante et inertielle, il est possible de poser l'égalité entre la dilatation de la masse produite par l'auto-induction du champ gravitationnel à celle produite par la relativité restreinte ; il est alors obtenu un champ relativiste produisant les mêmes distorsions du temps et de l'espace que la relativité générale à notre échelle expérimentale. Par contre, la véritable différence avec la théorie de la relativité générale est qu'ici le champ gravitationnel produit de la masse ou de façon généralisée, qu'il est lui-même la masse. S'il n'est pas très difficile d'accepter l'idée que l'électricité *est* le champ électrique ou que le magnétisme *est* le champ magnétique, cette même conception en ce qui concerne la masse semble plus difficile. Pourtant, la théorie de la relativité générale est la réponse à la contrainte suivante : *une mesure de la courbure moyenne de l'espace-temps = une mesure de la densité de l'énergie*. Si nous intégrons le postulat de l'énergie potentielle pesante à la théorie de la relativité générale, nous obtenons : *la masse est strictement équivalente à la courbure moyenne de l'espace temps et vice-versa*. Il est important de remarquer que sans le phénomène d'auto-induction, la relativité générale sous-estime nécessairement la densité de l'énergie.

Cette théorie possédant une structure mathématique beaucoup plus simple que la théorie de la relativité générale se prête probablement beaucoup plus aisément à l'intégration au modèle standard et à une théorie de grande unification. De plus, comme en physique Newtonienne classique, la singularité se retrouve seulement à une distance nulle du centre du système comme pour tous les autres champs. Il est également important de remarquer que les seules lois induites utilisées pour bâtir cette théorie sont la loi de la gravitation universelle de Newton et l'invariance de la vitesse de la lumière permettant de déduire la théorie de la relativité restreinte. C'est simplement le renforcement du principe d'universalité de l'équivalence masse-énergie qui force logiquement la déduction de cette théorie.

- 1 Léon Brillouin (1964), “*L'énigme $E = Mc^2$: énergie potentielle et renormalisation de la masse*”, Journal de Physique, France, Volume 25, Numéro 10.
- 2 Léon Brillouin (1965), “*The actual mass of potential energy, a correction to classical relativity*”, Proceedings of the National Academy of Sciences, Volume 53, Numéro 3.
- 3 Erik Peter Verlinde (2011), “*On the Origin of Gravity and the Laws of Newton*”, Journal of High Energy Physics, Volume 4, Numéro 29.
- 4 Roy Kerr (1963), “*Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics*”, Physical Review Letters, Volume 11, Number 5, p.237–238.
- 5 Y. Kato, M. Miyoshi, R. Takahashi, H. Negoro, R. Matsumoto (2010), “*Measuring spin of a supermassive black hole at the Galactic Centre – Implications for a unique spin*”, arXiv:0906.5423v2 [astro-ph.GA]
- 6 Valev, Dimitar (2010), “*Estimation of the total mass and energy of the universe*”, arXiv:1004.1035v [physics.gen-ph].
- 7 P.A.R Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, *et al.* (Planck Collaboration) (2013), “*Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results – Table 9*”. arXiv:1303.5062. Bibcode:2013arXiv1303.5062P.
- 8 Gianfranco Gentile, Benoit Famaey, HongSheng Zhao, Paolo Salucci (2009), “*Universality of galactic surface densities within one dark halo scale-length*”, Nature, Volume 461, p.627-628.
- 9 M. Milgrom (1983), “*A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis*”, Astrophysic Journal, Volume 270, p.365–370.

Marie-Andrée Cormier (2011), “*Paysage Humain*”, Musée d'art contemporain de Montréal

Dans cette installation, deux écrans orthogonaux révèlent un univers 3D représentant parfaitement le modèle holographique de l'univers de Verlinde. Des personnages évoluent en déplaçant des boîtes produisant des collisions inélastiques, seule source possible de photons et donc d'information sur l'écran de l'univers.