On the unification of the quantum mechanics and the theory of gravitation

A propos de l'unification de la mécanique quantique et la théorie de la gravitation

Alaya Kouki

alaya.kouki@ctf.com.tn

Abstract

In this article we had made a link between the cosmological constant and a new universal constant . The densities of vacuum energy as obtained by the way of the cosmological constant and by the way of the new universal constant are equals.

Résumé

Dans cet article on a réalisé un lien entre la constante cosmologique et une nouvelle constante universelle. Les densités d'énergies du vide obtenu avec les deux voies que ce soit celle de la constante cosmologique ou celle de la nouvelle constante universelle sont égaux.

Keywords : wave-corpuscle-string-unity quaternary , vacuum energy density, Zero Point Energy , thermal bath, vacuum bath, cosmological constant, vacuum mechanical impedance, negative temperature, scale relativity .

Mots clés: quaternité onde-corpuscule-corde-unité , densité d'énergie du vide, Energie du Pont Zéro, bain thermique , bain du vide, constante cosmologique, impédance mécanique du vide, température négative, relativité d'échelle.

1-Dualité onde-corpuscule :

L'impulsion quadridimensionnelle ou (4-impulsion) en composantes contra-variantes d'un corpuscule de masse m et vitesse $\boldsymbol{v}$est selon la mécanique relativiste dans un espace-temps de Minkowski comme suit :

$$p^i = \left(\frac{E}{c}, \boldsymbol{p}\right) \qquad (1)$$

Où : $E = \frac{m.c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \xi.c^2$:énergie du corpuscule ;

$\xi = \frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$: inertie du corpuscule (par définition) ;

$\boldsymbol{p} = \frac{m.\boldsymbol{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$: impulsion tridimensionnelle du corpuscule ;

$c = 3\ \ 10^{10}\ cm.s^{-1}$: célérité de la lumière dans le vide.

$i = 0,1,2,3$: indices. La première composante est celle temporelle, les autres spatiales.

Le 4-impulsion peut s'écrire aussi sous la forme suivante :

$p^i = m.c.u^i$ (2)

Avec : $u^i = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \frac{v}{c.\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right)$:vitesse quadridimensionnelle ;

Ou encore par définition :

$u^i = \frac{dx^i}{ds}$ (3)

Avec : $ds = c.dt.\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$: est l'élément intervalle qui se conserve dans tous les référentiels en mouvements rectilignes uniformes les uns par rapport aux autres.

Dans l'espace-temps de Minkowski on peut considérer les coordonnées (ct, x, y, z) d'un événement comme les composantes contra-variantes d'un rayon vecteur quadridimensionnel ou 4-rayon vecteur notés x^i dont i prend les valeurs $0{,}1{,}2{,}3$ avec :

$x^0 = ct \ , x^1 = x \ , \ x^2 = y \ , x^3 = z$

On peut penser à associer au corpuscule une *fréquence inertielle* ω tel que :

$E = \beta.\omega$ (2)

Où : β : une nouvelle constante universelle ;

Les fréquences caractérisent les ondes et l'idée ici est qu'il est possible qu'il existe une liaison entre les ondes et les corpuscules, autrement dit qu'il existe une certaine dualité onde-corpuscule : les corpuscules peuvent se comporter comme des ondes et vice-versa.

Une onde se caractérise par sa fréquence et son vecteur d'onde qui indique la direction de sa propagation. Dans un espace-temps de Minkowski on associe à l'onde le *4-vecteur d'onde suivant :*

$k^i = \left(\frac{\omega}{c}, \boldsymbol{k}\right)$ (3)

S'il existe une certaine dualité onde-corpuscule alors on doit avoir la relation de proportionnalité suivante :

$p^i = \beta.k^i$ (4)

On tire alors de (4), (1) & (3) :

$\frac{E}{c} = \beta.\frac{\omega}{c}$ ou encore $E = \beta.\omega$ (5)

$\boldsymbol{p} = \beta.\boldsymbol{k}$ (6)

Si on essaye de calculer la vitesse de groupe $v_g$de l'onde associée on aura :

$\frac{1}{v_g} = \frac{dk}{d\omega} = \frac{1}{v}$ (7)

La vitesse de groupe est celle avec laquelle se transmet l'énergie de l'onde qui est ici un paquet d'ondes et non pas une onde plane simple. D'ailleurs on peut directement déduire la relation de dispersion :

$p^i p_i = m^2 c^2 = \beta^2 k^i k_i = \beta^2 \left(\frac{\omega^2}{c^2} - k^2\right)$ (8)

En fait les équations (5) et (7) sont celles avec lesquelles De Broglie a commencé pour déduire l'équation (6) avec :

$\beta = \hbar = 1{,}054\ 10^{-27}\ erg.s$: constante de Planck réduite.

Notre démarche ici est pour quelqu'un qui n'a jamais entendu de la dualité onde-corpuscule et qu'il croit qu'une telle éventualité est possible directement à partir de la relativité restreinte. Autrement dit c'est une reformulation de la dualité onde-corpuscule.

2-Inertie temporelle :

La représentation d'un corpuscule par un paquet d'ondes qui se renforcent mutuellement autour de la position spatio-temporelle du corpuscule et s'autodétruisent ailleurs est possible selon De Broglie. Cependant ce paquet d'ondes peut se reconstruire indéfiniment dans l'espace-temps et ne représente pas tout à fait le corpuscule que pour un certain voisinage de la position réelle de celui-ci.

La meilleure représentation du corpuscule sera une impulsion solitaire qui se propage dans le vide sans perte d'énergie. Une impulsion solitaire est un paquet d'ondes qui se renforcent mutuellement autour d'une position spatio-temporelle et s'autodétruisent ailleurs tout en se propageant sur une assez longue distance sans perdre d'intensité.

La représentation d'une impulsion solitaire est soit fréquentielle ou temporelle.

On associe au corpuscule une *inertie temporelle* τ *ou temps inertiel* tel que :

$E = \alpha_0.\tau = \frac{\alpha_0}{c}.(c\tau)$ (9)

Avec : α_0 : une nouvelle constante universelle ayant la dimension d'une puissance.

On peut construire de la même façon que la dualité onde-corpuscule un 4-vecteur *corde* $l^i = (c\tau, \boldsymbol{l})$comme suit :

$p^i = \frac{\alpha_0}{c^2}.l^i$ (10)

Il vient que :

$\frac{E}{c} = \frac{\alpha_0}{c^2}.(c\tau)$ (11)

$\boldsymbol{p} = \frac{\alpha_0}{c^2}.\boldsymbol{l}$ (12)

Avec : $\boldsymbol{l} = \boldsymbol{v}.\tau$ de façon que $\boldsymbol{p} = \frac{E}{c^2}.\boldsymbol{v}$ soit vérifié.

3-Géometrie et vide :

On pose :

$a = \frac{\alpha_0}{c^2}$ (13)

La constante universelle "a" a la dimension d'une impédance mécanique c.à.d. c'est un coefficient de frottement visqueux. C'est comme si l'espace-temps de Minkowski est un milieu visqueux or ceci est en contradiction flagrante avec l'hypothèse de départ qui est que l'espace-temps de Minkowski est vide sans aucune interaction avec la matière. L'unique solution de sortir de cette contradiction est de supposer que l'espace temps de Minkowski est un superfluide, autrement dit c'est un milieu à pression négative qui compense le frottement visqueux en tout point de l'espace-temps :telle est l'idée existante dans la théorie de la Relativité Générale. Autrement dit le vide peut avoir une densité d'énergie non nulle et avec une pression négative.

La constante "a" ou "α_0" peut nous amener sur *deux voies différentes*. Elle a d'abord une liaison avec la notion de l'énergie du vide chose rencontrée dans la théorie de la Relativité Générale dont les équations du champ gravitationnel à l'échelle cosmique sont :

$R_{ik} - \frac{1}{2}.R.g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4}.T_{ik} - \Lambda.g_{ik}$ (14)

Avec : R_{ik} : tenseur courbure ;

R : scalaire (courbure de l'espace-temps)

T_{ik} : tenseur énergie-impulsion de la matière ;

g_{ik} : tenseur métrique ;

Λ : une constante ayant la dimension L^{-2} ;

$G = 6{,}67\ 10^{-11}\ unités\ SI$: constante newtonienne de la gravitation.

$i, k = 0{,}1{,}2{,}3$Indices des tenseurs

Il est certain que la nouvelle constante α_0 a une relation directe avec la constante Λ .

« On doit avoir $\Lambda \ll \mathcal{L}^{-2}$ *où* $\mathcal{L}$ *est la longueur caractéristique sur laquelle , à l'approximation newtonienne, le potentiel gravitationnel* φ *varie peux , de façon à retrouver la loi de Poisson :*

$$\nabla^2\varphi \approx 4\pi G\rho \qquad (15)$$

Avec : ρ : densité de la matière ;

∇^2 : opérateur de Laplace ;

Cette constante est négligeable et ne jouera donc de rôle que dans les systèmes de grande taille très supérieure aux systèmes stellaires voire galactiques d'où son nom de constante cosmologique. » [5]

La liaison entre les deux constantes $\alpha_0 \& \Lambda$ peut se retrouver par approximation de l'équation (14) sans négliger la constante Λ de façon à trouver -même à l'approximation classique- c'est quoi l'énergie du vide et ainsi déterminer d'une *manière classique* l'interaction du vide avec la matière. Ainsi matière et géométrie sont en interaction mutuelle et on a toujours :

$$matière \equiv géometrie \qquad (16)$$

Autrement dit la gravitation est une manifestation du vide et le champs newtonien n'est autre qu'une limite où un certain volume de l'espace (de masse m)interagit avec la totalité d'une géométrie spatiale qui s'étend à l'infini.

« Dans la limite de petites vitesses $v \ll c$ *et dans l'approximation de champ faible, la limite newtonienne des équations du champ dans le cas d'une constante cosmologique non nulle est selon J.S.Farnes [1]:*

$$\nabla^2\varphi = 4\pi G\rho_+ - 4\pi G\rho_{vac} = 4\pi G\rho_+ - \Lambda.c^2 \qquad (17)$$

Avec : ρ_+ : densité ordinaire de masse ;

$\rho_{vac} = \frac{\Lambda.c^2}{4\pi G}$ *: densité de masse associée au vide (18)*

L'équation (18) est la densité du vide qui correspond aussi à un Univers non accéléré [2].

Dans ce modèle la densité de masse est supposée composée de masse positive , de masse négative , de masse dû à la radiation , de l'effet dû à la constante cosmologique , de l'effet dû à la courbure et de la création continue de masse négative dans le processus d'expansion de façon à maintenir une densité de masse positive et négative constanteà grande échelle. Si non négliger la constante Λ *c'est équivalent à négliger le contenu de l'Univers en masse négative. Etant donné que ces masses négatives peuvent prendre la forme d'une constante* *cosmologique on peut déduire qu'elles ont la propriété du vide au lieu d'une matière non relativiste dans le sens conventionnel.*

En résumé les équations du champ sont modifiés comme suit :

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^2} (T_{ik}^{+} + T_{ik}^{-} + C_{ik}) \qquad (19)$$

Où le terme conventionnel Λg_{ik} est maintenant représenté par la combinaison des deux termes T_{ik}^{-}(un terme de matière exotique) et C_{ik}(un terme de gravité modifiée). »

4-Quaternité onde-corpuscule-corde-unité :

Notre formulation (10) entre directement dans le cadre du 6emeproblème de Hilbert :

« 6. Traitement mathématique des axiomes en physique. Les investigations sur les fondements de la géométrie suggèrent le problème : Traiter de la même manière, au moyen d'axiomes, les sciences physiques dans lesquelles les mathématiques jouent déjà aujourd'hui un rôle important ; au premier rang figurent la théorie des probabilités et la mécanique. »

On peut considérer l'équation (10) l'une des axiomes de la physique sans même chercher c'est quoi exactement le 4-vecteur l^i . Disons que le 4-vecteur l^i correspond à une représentation du corpuscule comme *corde* .

On déduit les dualités suivantes :

*Dualité onde-corpuscule : $p^i = \hbar k^i$;

*Dualité corpuscule-corde : $p^i = a l^i$;

*Dualité corde-onde : $a l^i = \hbar k^i$;

Donc on est en présence d'une *trinité onde-corpuscule-corde*.

Toute ces dualités s'effacent dans un système d'unités où :

$$\hbar = c = a = 1$$

C'est l'unité totale dans l'absolu ou une certaine *quaternité onde-corpuscule-corde-unité*.

Puis Hilbert donna son explication de ce principe axiomatique en théorie cinétique des gaz :

« Les travaux de Boltzmann sur les principes de la mécanique suggèrent le problème de développer mathématiquement les processus limitatifs, juste esquissés, qui mènent de la vision atomiste aux lois du mouvement du continu. »[6]

Cette idée de discrétion sera la base de l'étude de toutes les interactions : selon la discrétion de l'espace à différentes échelles on aura un genre d'interaction.

L'unique relation intéressante dans ce développement est l'équation (9) qui suggère que :

$$dE = \alpha_0 . d\tau \qquad (20)$$

Mais ce temps inertiel ne peut varier dans un espace-temps de Minkowski que de la façon suivante :

$d\tau = dt$: si l'énergie du corpuscule augmente (21)

Ce qui limite la variation du temps par saut supérieur ou égal à une limite inférieur comme suit :

Compte tenu de la dualité onde-corpuscule on a le principe d'incertitude de Heisenberg :

$$\Delta k . \Delta x \geq 1 \qquad (22)$$

$$\Delta \omega . \Delta t \geq 1 \qquad (23)$$

De (23) on déduit que :

$$\Delta E . \Delta t \geq \hbar \qquad (24)$$

De (19), (20) et (23) on déduit que :

$$\Delta t \geq \sqrt{\frac{\hbar}{\alpha_0}} = t_{vac} \qquad (25)$$

Autrement dit on ne peut pas communiquer une certaine énergie en un temps égal à zéro.

Un quantum universel d'énergie est définit comme suit:

$$\varepsilon \geq \alpha_0 . \sqrt{\frac{\hbar}{\alpha_0}} = \sqrt{\hbar . \alpha_0} = m_{vac} . c^2 = \varepsilon_{vac} \qquad (26)$$

Et une discrétion de l'espace sous forme d'intervalles :

$$L \geq c . t_{vac} = c . \sqrt{\frac{\hbar}{\alpha_0}} = \sqrt{\frac{\hbar}{a}} = l_{vac} \qquad (27)$$

Si nous essayons de déterminer la constante α_0 et comprendre la signification physique du système d'unités $t_{vac}, m_{vac}, l_{vac}$ on peut la chercher d'abord dans les vibrations atomiques comme l'a suggéré auparavant James Clerk Maxwell :

"If we wish to obtain standards of length, time and mass which shall be absolutely permanent, we must seek them not in the dimensions, or motion or the mass of our planet, but in the wavelength, the period of vibration, and absolute mass of these imperishable and unalterable and perfectly similar molecules." **J.C. Maxwell (1870)**

De la dualité onde-corde on déduit :

$$\Delta E = \hbar . \Delta \omega = \alpha_0 . \Delta \tau \qquad (28)$$

Avec :

$\Delta\tau = \frac{1}{\Delta\omega} \approx durée\ de\ vie\ état\ excité\ d'un\ atome$ (29)

La dimension typique d'un atome est de l'ordre de 1 Å . Les transitions dans l'état dynamique des électrons externes ou *électrons optiques* font intervenir des énergies de l'ordre de l'électronvolt ce qui correspond en gros pour les photons émis à des longueurs d'onde dans le *domaine optique* c.à.d. dans un intervalle d'énergie entre 1,8 à 3,0 eV ou dans un intervalle de longueur d'onde de 7000 à 4000 Å .

Le rayonnement dipolaire électrique est le mode de rayonnement le plus important en physique atomique. On peut assimiler l'atome à un dipôle électrique de moment $e.a_0$ où :

$a_0 = \frac{1}{\alpha}.\frac{\hbar}{mc} = 0{,}53$ Å : le rayon de Bohr.

$\alpha = \frac{1}{137}$: constante de la structure fine.

L'oscillation du dipôle électrique (donc de l'atome à l'état excité) est de fréquence ω et cette fréquence est également la fréquence de la lumière émise. Le fait que l'objet oscillant soit petit par rapport à la longueur d'onde se traduit par :

$\frac{a_0.\omega}{c} \ll 1$ (30)

Le taux d'émission d'énergie radiative par un tel dipôle est donné par (en système cgs) :

$P = \frac{1}{3.c^3}.\omega^4.(e.a_0)^2$ (31)

Comme l'atome n'émettra qu'un seul photon on cherche à calculer un temps τ que l'atome met pour émettre une quantité d'énergie $\hbar\omega$ .Ce temps est :

$P = \frac{\hbar\omega}{\tau} = \frac{\alpha_0.\tau}{\tau} = \alpha_0 = \frac{1}{3.c^3}.\omega^4.(e.a_0)^2$ (32)

-Pour $\lambda_{opt} = 4000\ \text{Å} = \frac{2\pi c}{\omega} \rightarrow \omega = \frac{2\pi.3.10^8}{4000.10^{-10}} = 4{,}7\ 10^{15}\ Hz$

$$\alpha_0 = \frac{1}{3.27.10^{30}}.(4{,}7^4x10^{60}).(4{,}8\ 10^{-10}x0{,}53\ 10^{-8})^2 = 39\ 10^{-6}\ erg.s^{-1}$$
$$\approx 4\ 10^{-12}\ Watt$$

$$\tau = \frac{\hbar\omega}{\alpha_0} = \frac{1{,}054\ 10^{-34}x4{,}7\ 10^{15}}{4\ 10^{-12}} = 1{,}24\ 10^{-7}\ seconde$$

-Pour $\lambda_{opt} = 7000\ \text{Å} = \frac{2\pi c}{\omega} \rightarrow \omega = \frac{2\pi.3.10^8}{7000.10^{-10}} = 2{,}7\ 10^{15}\ Hz$

$$\alpha_0 = \frac{1}{3{,}27.10^{30}}.(2{,}7^4x10^{60}).(4{,}8\ 10^{-10}x0{,}53\ 10^{-8})^2 = 4\ 10^{-6}\ erg.s^{-1}$$
$$\approx 0{,}4\ 10^{-12}\ Watt$$

$$\tau = \frac{\hbar\omega}{\alpha_0} = \frac{1{,}054\ 10^{-34}x2{,}7\ 10^{15}}{0{,}4\ 10^{-12}} = 7{,}11\ 10^{-7}\ seconde$$

Donc on aura :

$$\alpha_0 \in [0{,}4 - 4]\ 10^{-12}\ Watt$$

$$\tau \in [1{,}24 - 7{,}11]10^{-7}\ seconde$$

Dans le système d'unités m_{vac}, l_{vac} & t_{vac} on peut associer au vide une densité d'énergie du vide tel que :

$\rho_0 = \frac{m_{vac}}{l_{vac}^3} = \frac{\alpha_0^2}{c^5.\hbar} = \frac{a^2}{\hbar.c}$ (33)

De sorte que :

$\rho_{vac} = f.\rho_0$ (34)

Avec : f : coefficient de modulation à adapter avec les données expérimentaux.

Il vient que :

$\frac{\Lambda.c^2}{4\pi G} = f.\frac{\alpha_0^2}{c^5.\hbar}$ (35)

-Pour $\Lambda \approx 0{,}3\ 10^{-52}m^{-2}$ valeur couramment admise et $\alpha_0 = 0{,}4\ 10^{-12}\ Watt$ alors : $f = \frac{\Lambda.c^7.\hbar}{4\pi G.\alpha_0^2} = \frac{0{,}3\ 10^{-52}x3^7 10^{56}x1{,}054\ 10^{-34}}{4\pi\ x6{,}67\ 10^{-11}x0{,}4\ 10^{-12}} = 20{,}62\ 10^{-7}$

-Pour $\Lambda \approx 0{,}3\ 10^{-52}m^{-2}$ valeur couramment admise et $\alpha_0 = 4\ 10^{-12}\ Watt$ alors : $f = \frac{\Lambda.c^7.\hbar}{4\pi G.\alpha_0^2} = \frac{0{,}3\ 10^{-52}x3^7 10^{56}x1{,}054\ 10^{-34}}{4\pi\ x6{,}67\ 10^{-11}x4\ 10^{-12}} = 2{,}06\ 10^{-7}$

Si on veut prendre $f = 1\ \&\alpha_0 \sim 10^{-12}\ Watt$ alors on aura :

$\Lambda = \frac{4\pi G.\alpha_0^2}{\hbar.c^7} = \frac{4\pi x6{,}67\ 10^{-11}x10^{-24}}{1{,}054\ 10^{-34}x3^7x10^{56}} = 3{,}63\ 10^{-59}m^{-2}$ valeur qui est très proche d'une valeur calculée sur la base d'un modèle de particules élémentaires basé sur une théorie de relativité d'échelles, égale à "$1{,}25\ 10^{-60}m^{-2}$" [3]. Il suffit de raffiner la détermination expérimentale de la constante α_0 pour coïncider les deux valeurs .

On peut déclarer que la constante cosmologique est une constante universelle . On reconnait dans l'équation de Poisson (17) pour les champs faibles l'aspect ressort (il suffit d'intégrer cette équation) dû à la constante cosmologique ce qui peut nous permet de déterminer le premier terme de l'équation de Poisson en considérant une particule de masse m en interaction avec une infinité des points de l'Univers en résolvant l'équation de Klein-Gordon pour un potentiel à symétrie sphérique et une particule dont l'énergie est quantifiée sans recourir à la théorie de la gravitation [4] :c'est exactement la vision de Hilbert.

5-Une expérience pour déterminer la constante α_0 :

L'unique façon est de s'assurer de s'assurer de la valeur de la nouvelle constante α_0 est de la déterminer expérimentalement. On propose dans ce sens l'expérience de l'effet photo-électrique en ayant une cellule photoémissive branchée directement à une résistance ohmique et suffisamment éclairée par une radiation monochromatique de façon à avoir une tension et un courant notables.

La cellule est supposée équivalente à un condensateur de capacité C_0 . La lumière incidente arrachent un certain nombre d'électrons$N$ à l'anode de la cellule. On suppose que les photons tombent sur la surface anodique en batch et entrent en interaction avec les atomes en même temps de façon à arracher au bout d'une certaine durée le nombre N d'électrons. On suppose aussi que l'inertie temporelle du photon ne diffère pas beaucoup de la durée de son interaction avec l'atome anodique.

On a :

-Puissance dans le circuit fermé cellule-résistance :

$$P = U.I = U.\frac{N.e}{\tau} = U.\frac{N.e}{h\nu}.\alpha_0 \qquad (36)$$

-Tension aux bornes de la cellule :

$$U = \frac{Q}{C_0} = \frac{N.e}{C_0} \qquad (37)$$

Donc :

$$P = U.\frac{\alpha_0}{h\nu}.(U.C_0) = U.I$$

Et alors :

$$I = \frac{\alpha_0.C_0}{h\nu}.U \qquad (38)$$

Connaissant le rapport $\frac{I}{U}$ pour une certaine intensité de la lumière on peut déterminer α_0 .

Bien entendu dans ce type d'expérience il vaut mieux avoir une cellule photoémissive très proche dans sa construction d'un condensateur par exemple construite à partir de deux demi-cylindres coaxiaux. Indirectement on a supposé que la résistance interne de la photocellule est nulle ou négligeable devant la résistance externe.

6-La seconde voie de la constante α_0 :

Remarquons que $\boldsymbol{aX}$ a la dimension d'une impulsion avec $\boldsymbol{X}$ position spatiale du corpuscule. Ceci nous rappelle la notion d'impulsion généralisée en électrodynamique. En effet on peut associer à un corpuscule non chargé une impulsion généralisée comme suit :

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{p} + a.\boldsymbol{X} \qquad (39)$$

Avec $\boldsymbol{p}$: impulsion du corpuscule ;

$\boldsymbol{X}$: position spatiale du corpuscule.

L'équation (39) est tout à fait analogue à une impulsion généralisée d'une charge électrique "e_0" en mouvement dans un champ de potentiel vecteur $\boldsymbol{A}$ tel que :

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{p} + \gamma.\frac{e_0}{c}.\boldsymbol{A} \qquad (40)$$

Avec γ : facteur de conversion choisi arbitrairement tant qu'il n'y a aucune formule reliant les charges et les potentiels vecteurs.

e_0 : une constante universelle ayant la dimension d'une charge électrique ;

On peut de la même manière définir des champs $\boldsymbol{G}$ & $\boldsymbol{F}$ similaires aux champs électriques et magnétiques, utiliser une jauge équivalente à celle de Coulomb pour déduire le champ gravitationnel newtonien [9].

D'après (39) même un corpuscule au repos aura une énergie dû au potentiel vecteur associé tel que :

$$\gamma.\frac{e_0}{c}.\boldsymbol{A} = a.\boldsymbol{X} \qquad (41)$$

Le potentiel vecteur est définit comme l'énergie nécessaire dû au travail dû à l'action d'un champ électromagnétique extérieur sur une charge pour la ramener de l'infini à sa position spatiale .

7-Le rayonnement du corps noir :

On peut déterminer la constante α_0 en se référent aux expériences de F.Kurlbaum et Wien comme a fait Planck pour déterminer sa constante et celle de Boltzmann.

Si on tient compte de la densité d'énergie du vide, les calculs de Planck de sa constante et celle de Boltzmann doivent être révisés. Le modèle de Planck d'une cavité de corps noir est un modèle qui repose sur une infinité d'oscillateurs harmoniques constitués par les dipôles atomiques de la surface intérieure de la cavité et qui sont plongés dans un bain thermique constitué par le rayonnement à l'intérieur de la cavité. S'il y a aucun rayonnement à l'intérieur la température de la cavité tombe à zéro Kelvin mais quand même les oscillateurs restent plongés dans le vide et selon la mécanique quantique chaque oscillateurs aura une *énergie du point zéro* égale à $\frac{h.\nu}{2}$ ou ν est la fréquence d'un certain rayonnement virtuel qui rempli le vide et qui peut se manifester pour des courtes durées pour interagir avec l'oscillateur dans un échange d'énergie mutuel sans aucune perte. Autrement dit l'oscillateur ne sera jamais au repos même à zéro Kelvin et c'est déjà prévu par les relations d'incertitude de Heisenberg.

On peut prévoir certains résultats sans faire aucun calcul : la fréquence du rayonnement associé au vide ne peut jamais atteindre le domaine visible par exemple car dans ce cas il y aura un rayonnement spontané à partir des oscillateurs et alors il est impossible d'atteindre le zéro Kelvin puisque finalement ce rayonnement va remplir la cavité.

Soit donc une cavité noire en équilibre thermique à une température T et dans laquelle on a percé un petit trou pour mesurer la puissance et l'énergie rayonnante.

La moyenne du nombre des photons de fréquences comprises entre $\nu\ et\ \nu + d\nu$ à l'équilibre thermique de la cavité est [11] :

$$n = \frac{1}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1} \qquad (42)$$

La moyenne de l'énergie des photons dans cet intervalle de fréquence est (échangée avec la cavité noire modélisée comme un oscillateur) :

$$E_\nu = nh\nu = \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1} \qquad (43)$$

La moyenne de la puissance émise des photons à cet intervalle de fréquence est :

$$P_\nu = n.\alpha_0 = \frac{\alpha_0}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1} \qquad (44)$$

Puisque compte tenu de (21) la puissance d'un photon est toujours :

$$\frac{d(h\nu)}{dt} = \frac{d(\alpha_0.\tau)}{dt} = \alpha_0.\frac{d\tau}{dt} = \alpha_0 \qquad (45)$$

Le nombre de modes δM pour des ondes électromagnétiques polarisées contenu dans le volume V de la cavité et dans l'intervalle des fréquence $\delta\nu$ est :

$$\delta M = 8\pi.V.\frac{\nu^2}{c^3}.\delta\nu \qquad (46)$$

L'énergie contenue dans l'intervalle de fréquence $\delta\nu$ est :

$$\delta U = E_\nu.\delta M = 8\pi.V.\frac{\nu^2}{c^3}.\frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1}.\delta\nu \qquad (47)$$

La puissance contenue dans l'intervalle de fréquence $\delta\nu$ est :

$$\delta P = P_\nu.\delta M = 8\pi.V.\frac{\nu^2}{c^3}.\frac{\alpha_0}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1}.\delta\nu \qquad (48)$$

La densité d'énergie par intervalle de fréquence $\delta\nu$ est (loi de Planck):

$$dU = \frac{\delta U}{V} = \frac{8\pi.h.\nu^3}{c^3}.\frac{1}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1}.d\nu = u_\nu.d\nu \qquad (49)$$

La densité de puissance par intervalle de fréquence $\delta\nu$ est :

$$dP = \frac{\delta P}{V} = 8\pi.\frac{\nu^2}{c^3}.\frac{\alpha_0}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1}.d\nu = p_\nu.d\nu \qquad (50)$$

Intégrer (49) pour toutes les fréquences (loi de Stefan) :

$$U = b.T^4 \qquad (51)$$

Avec : $b = \frac{8.\pi^5.k^4}{15.h^3.c^3}$ ayant la dimension de $[J.m^{-3}.K^{-4}]$

Intégrer (50) pour toutes les fréquences on aura la densité de puissance par unité de volume :

$$P = \frac{30.\zeta(3).b.\alpha_0}{\pi^4.k}.T^3 \qquad (52)$$

Avec : $\zeta(3) = 1{,}202056$ … fonction Zeta ou fonction de Riemann.

P a la dimension de $[Watt.m^{-3}]$.

L'intensité de radiation ou puissance par unité de surface sortant du corps noir , est donnée par la loi suivante [9] (loi de Stefan-Boltzmann) :

$$R = \frac{c}{4}.U = \frac{2.\pi^5.k^4}{15.h^3.c^2}.T^4 = \sigma.T^4 \qquad (53)$$

Avec : $\sigma = \frac{2.\pi^5.k^4}{15.h^3.c^2}$

A partir des mesures expérimentaux de F.Kurlbaum et la loi de déplacement de Wien , Planck à déduit les valeurs suivantes pour sa constante h et celle de Boltzmann k . La base du temps de F.Kurlbaum dans ses mesures est la seconde tel que expliqué par Planck dans son article [5] :

"§11. The values of both universal constants h and kmay be calculated rather precisely with the aid of available measurements. F. Kurlbaum, designating the total energy radiating into air from 1 sq cm of a black body at temperature t ○ C in 1 sec by S_t, found that:

$S_{100}-S_0=0.0731\,\frac{Watt}{cm^2}=7.31\ 10^5\,\frac{erg}{cm^2.sec}$"

A partir de (53) on déduit que :

$$\sigma.(373^4 - 273^4) = 7{,}31\ 10^5 = \frac{2.\pi^5.k^4}{15.h^3x3^2 10^{20}}.(373^4 - 273^4) = 6{,}257\ 10^{-10}.\frac{k^4}{h^3}$$

Donc :

$$\frac{k^4}{h^3} = 1{,}1682\ 10^{15}\ unités\ cgs \qquad (54)$$

D’après la loi déplacement de Wien le maximum d’énergie émise pour la longueur d’onde $\lambda_{maxenergy}$ et la température T est donné expérimentalement par :

$$\lambda_{maxenergy}.T = 0,294\ cm\ K \qquad (55)$$

L’expression de la densité d’énergie en fonction de la longueur d’onde est :

$$u_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}.\frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)-1} \qquad (56)$$

L’équation (55) passe par un maximum si la dérivée de (56) est nulle:

$$\left(1-\frac{hc}{5k\lambda T}\right).\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) = 1$$

Ceci n’est possible que si :

$$\frac{hc}{k\lambda T} = 4,9651$$

Compte tenu de (55) on aura :

$$\frac{h}{k} = 4,866\ 10^{-11}\ unités\ cgs \qquad (57)$$

Par conséquent :

$$k = 1,346\ 10^{-16}\ erg.K^{-1}$$

$$h = 6,55\ 10^{-27}\ erg.s$$

Les valeurs actuelles sont :

$$k = 1,38\ 10^{-23}\ Joule.K^{-1}$$

$$h = 6,626\ 10^{-34}\ Joule.s$$

Donc :

$$b = 7,56\ 10^{-16}\ Joule.m^{-3}.K^{-4}$$

$$\sigma = 5,67\ 10^{-8}\ Watt.m^{-2}.K^{-4}$$

C’est pratiquement la méthodologie de Planck pour déterminer h & k .

La loi de déplacement de Wien s’écrira en terme de fréquence [10]:

$$\nu_{maxenergy}T^{-1} = 5,879\ 10^{10}\ Hz.K^{-1} \qquad (58)$$

Essayons de voir le maximum de puissance volumique :

La densité de puissance d'un corps noir est d'après (50) :

$$p_\nu = 8\pi.\frac{\nu^2}{c^3}.\frac{\alpha_0}{\exp\left(\frac{h.\nu}{k.T}\right)-1} \qquad (59)$$

Remplacer $x = \frac{h\nu}{kT}$ dans (59) :

$$p_\nu = \frac{8\pi.k^2.T^2.\alpha_0}{h^2.c^3}.\frac{x^2}{\exp(x)-1} \qquad (60)$$

Le maximum de la densité de puissance est obtenu quand $\frac{dp_\nu}{d\nu} = \frac{dp_\nu}{dx} = 0$. On déduit de (60)

$$x - 2 = W(-2.e^{-2}) = W(-0{,}27) \approx -0{,}406 \qquad (61)$$

Où : W : fonction de Lambert à résoudre graphiquement.

De (61) il vient que :

$$\nu_{maxpower}.T^{-1} \approx 1{,}594\,\frac{k}{h} = 3{,}2756\;10^{10}\;Hz\,.K^{-1} \qquad (62)$$

Il est claire que le maximum de puissance et celui de l'énergie sont atteints chacune pour une fréquence différente de l'autre.

On s'attend à ce que $p_\upsilon = \frac{du_\upsilon}{dt}$ mais quand on aura ce résultat ?

On a :

$$\frac{du_\nu}{dt} = \frac{du_\nu}{d\nu}.\frac{d\nu}{dt} = \frac{8\pi h}{c^3}.\frac{\alpha_0}{h}.\left(\frac{3.\nu^2}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1} - \nu^3.\frac{h}{kT}.\frac{\exp(\frac{h\nu}{kT})}{(\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1)^2}\right) = p_\nu$$

D'ou:

$$1 = 3 - \frac{h\nu}{kT}.\frac{\exp(\frac{h\nu}{kT})}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1}$$

On pose : $x = \frac{h\nu}{kT}$

On aura :

$$2 = x.\frac{\mathrm{e}^{\mathrm{x}}}{e^x-1}$$

Soit :

$$2.e^x - 2 = x.e^x = (x-2).e^x + 2.e^x$$

Et alors :

$$-2.e^{-2} = (x-2).e^{x-2}$$

En fin :

$x = 2 + W(-2e^{-2}) \approx 1{,}594$

Où : W:fonction de Lambert à résoudre graphiquement.

Cherchons le maximum de puissance :

Posons : $y = \frac{h\nu}{kT}$

$p_\nu = \frac{8\pi k^2 T^2 y^2}{c^3 . h^2} . \frac{\alpha_0}{e^y - 1}$

p_ν atteint son maximum lorsque $\frac{dp_\nu}{d\nu} = 0 = \frac{dp_\nu}{dy}$ et alors on aura :

$2. y. \frac{1}{e^y - 1} - y^2 . \frac{e^y}{(e^y - 1)^2} = 0$

Soit :

$2 = y. \frac{e^y}{e^y - 1}$

Directement on tire que :

$y = 2 + W(-2e^{-2}) \approx 1{,}594$

Après calcul il s'avère que $p_\upsilon = \frac{du_\upsilon}{dt}$ si et seulement si :

$\nu = \nu_{maxpower} = 1{,}594 \, \frac{k}{h} . T$ (63)

Selon Planck :

« *§1.L'entropie conditionne le désordre , et ce désordre intervient en théorie du rayonnement électromagnétique dans les oscillations monochromatiques d'un résonateur –même lorsqu'il se trouve ans un champs de rayonnement durablement stationnaire-à travers l'irrégularité des variations continuelles d'amplitude et de phase, lorsqu'on s'intéresse à des intervalles de temps grands par rapport à la durée d'une oscillation , mais petits par rapport au temps d'une mesure. Si amplitude et phase étaient absolument constants , les oscillations deviendraient parfaitement homogènes , l'entropie ne pourrait exister et l'énergie d'oscillation devait pouvoir se transformer librement et complètement en travail. L'énergie constante* U *d'un résonateur individuel oscillant de manière stationnaire doit alors être considérée comme une valeur moyenne dans le temps des énergies d'un grand nombre* N *d'oscillateurs identiques , se trouvant dans le même champ stationnaire de rayonnement, suffisamment éloignés les uns des autres pour ne pas s'influencer mutuellement.* »

Puis Planck aboutit au résultat suivant pour un résonateur :

$$U = \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1} \qquad (64)$$

Ainsi on peut écrire l'énergie du résonateur comme suit :

$$U = \frac{\alpha_0 <\int dt>}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1} \qquad (65)$$

Avec : α_0 : une constante universelle ;

U : moyenne dans le temps des énergies d'un grand nombre N d'oscillateurs identiques , se trouvant dans le même champ stationnaire de rayonnement , suffisamment éloignés les uns des autres pour ne pas s'influencer et contribuant à l'énergie totale du résonateur (selon le modèle de Planck).

$< \int dt >= \tau$: une durée caractéristique du résonateur. (66)

On a ainsi compte tenu de (64) et (65) :

$$h\nu = \alpha_0 \tau \qquad (67)$$

Il est à noter que selon Planck :

$$\tau = F.\frac{1}{\nu} \qquad (68)$$

Avec : $F \gg 1$: un grand entier comme le stipule Planck.

Et : $\tau \ll 1\, seconde$ où $la\ seconde$ est la durée d'une mesure selon F.Kurlbaum et comme le présente Planck dans son exposé.

On déduit alors que :

$$\nu \gg F \gg 1 \qquad (69)$$

Bien entendu la durée d'une oscillation d'un oscillateur est : $\frac{1}{\nu}$ et on a appliqué l'analyse de Planck et les conditions de mesures de F.Kurlbaum.

Il s'ensuit d'après (69) qu'intégrer la densité de l'énergie d'un corps noir- en terme de fréquence - de zéro à l'infini est entaché d'erreur mais ceci ne nous intéresse pas à priori.

On peut assimiler le résonateur à un dipôle électrique oscillant et qui n'est autre qu'un atome de la paroi de la cavité noire.

La densité d'énergie d'un corps noir est faible pour les petites et les grandes fréquences, idem pour la densité de puissance.

Ce qui nous intéresse est de déterminer le maximum de puissance émise par un résonateur et alors ça sera autour de la fréquence donnée par l'équation (62). On aura :

$P = \frac{\alpha_0}{\exp(1{,}594)-1}$ (70)

C'est bien une expression indépendante de la température.

D'après (32) et (62) on a :

$P = \frac{1}{3.c^3}.(2\pi)^4 T^4.\frac{k^4}{h^4}(1{,}594)^4.(e.a_0)^2$ (71)

Les équations (70) et (71) permettent de fixer la température qui correspond à l'émission de puissance d'une façon pratiquement indépendante de la température .

On sait que : $\alpha_0 \sim 10^{-5}\ erg.s^{-1}$ pour un dipôle atomique.

D'après (70) et (71) on aura :

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2\pi.1{,}594.\sqrt{e.a_0}}.\frac{h}{k}.\left(\frac{3.c^3.\alpha_0}{\exp(1{,}594)-1}\right)^{0{,}25} \\ &= \frac{1}{2\pi.1{,}594.\sqrt{4{,}8\ 10^{-10}.0{,}53\ 10^{-8}}}.\frac{6{,}62\ 10^{-27}}{1{,}38\ 10^{-16}}\left(\frac{3x27.10^{30}x10^{-5}}{e^{1{,}594}-1}\right)^{0{,}25} \\ &= 0{,}0626\ 10^9 x 4{,}8\ 10^{-11} x 1{,}2\ 10^6 = 3600\ K \end{aligned}$$

Donc c'est le tout début du domaine visible. Mais les mesures de F.Kurlbaum sont effectuées dans l'ordre de $T \in [273-373]K$ donc de faibles températures comparées à $3600\ K$.

Pour que la puissance émise par un résonateur soit pratiquement indépendante de la température on doit choisir une base de temps h_0 comme une moyenne caractéristique pour tous les oscillateurs tel que :

$\alpha_0 h_0 = h.\nu_0$ (72)

Où :

$\nu_0 = \sqrt{\frac{\alpha_0}{h}}$ (73) : une fréquence de référence qui peut correspondre pour l'émission de puissance d'un corps noir porté à une faible température.

En particulier on peut prendre $T = 1K$ correspondent à la variation de la température d'une cavité de $zéro$ à $1K$ et ayant un double objectif :

a)-On peut vérifier si notre raisonnement est correcte . Il s'agit des mêmes dipôles électriques pour la situation de faible température et on a pour le maximum d'émission de puissance :

$\nu_0 = 1{,}594.\frac{k}{h}.T = \sqrt{\frac{\alpha_0}{h}}$

Ce qui donne pour $T = 1K$:

$$\alpha_0 = 1{,}594^2.\frac{k^2.T^2}{h} = 1{,}594^2 x \frac{1{,}38^2 10^{-32} x 1^2}{6{,}62\ 10^{-27}} = 0{,}73\ 10^{-5}\ erg.s^{-1} \in [0{,}4-4].10^{-5} erg.s^{-1}$$

b)Définir c'est quoi un degré absolu :

$$1K = \frac{1}{1{,}594}.\frac{\sqrt{h.\alpha_0}}{k}$$

Ou autrement c'est quoi globalement l'énergie :

$$h.\nu_0 = \sqrt{h.\alpha_0}$$

Et notre réponse c'est pratiquement (ou moyennement)l'énergie absorbée par un dipôle électrique modélisant l'atome pendant la durée $h_0 = \sqrt{\frac{h}{\alpha_0}}$.

D'une autre manière l'augmentation de la température de $1K$ d'une mole d'un élément chimique sans aucun échange de travail avec l'extérieur est équivalent à l'absorption de chaque atome ou molécule de l'énergie $\sqrt{h.\alpha_0}$.

Idem pour les métaux : l'augmentation de la température d'une barre métallique de $1K$ est équivalent à l'absorption de tous les atomes de cette barre de l'énergie $\sqrt{h.\alpha_0}$ et c'est aussi équivalent au travail des forces élastiques pour l'allongement correspondant à une augmentation de température de $1K$ ce qui peut nous permettre de déterminer grossièrement que ce soit la constante α_0 ou le module d'élasticité du métal . Finalement on rejoint les idées de Hilbert en partant du microscopique vers le macroscopique et l'inverse est aussi vrai.

L'énergie $\sqrt{h.\alpha_0}$ est l'énergie la plus répandue dans l'Univers.

Il est à signaler qu'a la loi de Stephan pour la densité totale de l'énergie d'un corps noir on doit retrancher une partie pour être conforme avec les hypothèses de départ de Planck puisqu'on ne doit pas intégrer la densité d'énergie de Planck à partir de la fréquence nulle. La densité à retrancher est :

$$U_0 = \int_0^{\nu_0} 8\pi.\frac{\nu^2}{c^3}.\frac{h.\nu_0}{2}.d\nu = \frac{4\pi}{3.c^3}.\nu_0^4 \qquad (74)$$

Où : $\frac{h.\nu_0}{2}$ est l'énergie qu'acquis le résonateur à l'état fondamental tel que donnée par un *résonateur quantique* [12].

A partir de la densité d'énergie du vide selon la cosmologie on peut déduire une valeur approchée de la fréquence ν_0 et par conséquent une valeur approchée de la constante α_0 .

Pour être conforme avec l'équation (74) il faut multiplier la densité d'énergie du vide (33) par un facteur égal à $\frac{2}{3}$.

Ainsi à zéro kelvin un corps noir à une densité d'énergie totale négative autrement dit on a une pression négative qui va annuler tout effet de viscosité : notre perception de l'espace-temps vide doit complètement changer et la mécanique devra être réécrite.

La valeur de la constante α_0 pourra être déduite aussi autrement :

A partir des conceptions semi-classiques de la densité totale de puissance (52) et de la densité totale d'énergie (51) pour un corps noir on a :

$$P(1K) \approx \frac{U(1K)}{h_0}$$

Ce qui donne :

$$\alpha_0 = \frac{\pi^8 . k^2 . 1^2}{900 . \zeta(3)^2 . h} = \frac{\pi^8 x 1{,}38^2\ 10^{-46} x 1^2}{900 x 1{,}2^2 x 6{,}626\ 10^{-34}} = 2{,}104\ 10^{-12}\ Watt \qquad (75)$$

8-Effet Compton pour le rayonnement le plus répandu dans l'Univers :

La fréquence du photon diffusé lors de la collision d'un photon avec un électron au repos (appartenant à un atome) est donnée avec la formule de Compton [13] comme suit :

$$\nu' = \frac{\nu}{1+\frac{h.\nu}{m.c^2}(1-cos\theta)} \qquad (76)$$

Où : ν': fréquence du photon diffusé

ν: fréquence du photon incident

m: masse de l'électron

θ : angle de diffusion par rapport à la direction d'incidence

Etant donné qu'on a pour le rayonnement le plus répandu dans l'Univers $h\nu \approx \sqrt{h.\alpha_0} \approx h\nu'$ on déduit directement de (76) que $\theta = 0$; autrement dit la matière est pratiquement transparente pour ce type de rayonnement.

9-Théorie des particules élémentaires :

Pour une particule élémentaire on s'attend à ce que sa corde soit un multiple entier de sa longueur d'onde de Compton. La longueur d'onde de Compton témoigne de la portée du champ de force lorsque la particule sert d'intermédiaire à cette force.

On a pour une particule élémentaire:

$$\frac{mc}{a} = N.\frac{\hbar}{mc} = \frac{m.c^3}{\alpha_0} \quad \text{soit} \quad N = \frac{c^4}{\hbar.\alpha_0}.m^2 \qquad (77)$$

Ou en terme de logarithmes :

$$Log_{10}(N) = Log_{10}\left(\frac{c^4}{\hbar.\alpha_0}\right) + 2.Log_{10}(m) \qquad (78)$$

On prend $\alpha_0 \approx 10^{-12}\, Watt$ et m exprimée en . On aura le tableau 01 suivant :

$$\frac{c^4}{\hbar.\alpha_0} = \frac{3^4.10^{32}}{1{,}054\ 10^{-34}x10^{-12}} = 76{,}85\ 10^{78} \rightarrow Log_{10}\left(\frac{c^4}{\hbar.\alpha_0}\right) = 79{,}8856$$

Particule	Masse $m(Mev)$	$Log_{10}(m)$	$Log_{10}(N)$
Boson Z^0	91200	4,9600	89,8056
Boson $W^\pm$	80400	4,9052	89,6961
Muon $\mu^\pm$	105,659	2,024	83,9334
Proton p	938,259	2,9723	85,8302
Particule xi Ξ^0	1314,7	3,12	86,1233
Oméga-moins Ω^-	1674	3,2237	86,3330
Pion neutre π^0	135	2,1303	84,1462
$méson - \eta$	548.6	2,74	85,3656
Kaon neutre K^0	497,9	2,7	85,2800
Boson de Higgs H^0	125000	5,0969	90,0794

Tableau 01 : logarithme à base 10 du nombre entier N correspondant à la masse en Mev de quelques particules élémentaires.

A partir du tableau 01 on peut dresser la courbe d'équation (78) sur une échelle bi-logarithmique (Fig01).On voit bien que c'est une droite et cette droite pour les particules élémentaires est l'équivalent du tableau de Mendeleïev pour les éléments chimiques.

10-Conclusion :

On conclu que la puissance de chaque photon est une constante universelle. Cette constante nous a permis d'unifier la cosmologie et la mécanique quantique à travers leur zone de rencontre : la définition du vide. Il est certain maintenant que la constante cosmologique Λ est une constante universelle.

Il est à noter aussi que le modèle de cavité noire de Planck en tant qu'un ensemble d'oscillateurs échangeant de l'énergie avec un champ électromagnétique remplissant celle-ci pourra être modéliser autrement comme étant un seul oscillateur échangeant de l'énergie avec un bain thermique de photons [14] : c'est une autre dualité cachée celle de la dualité unité-multiplicité.

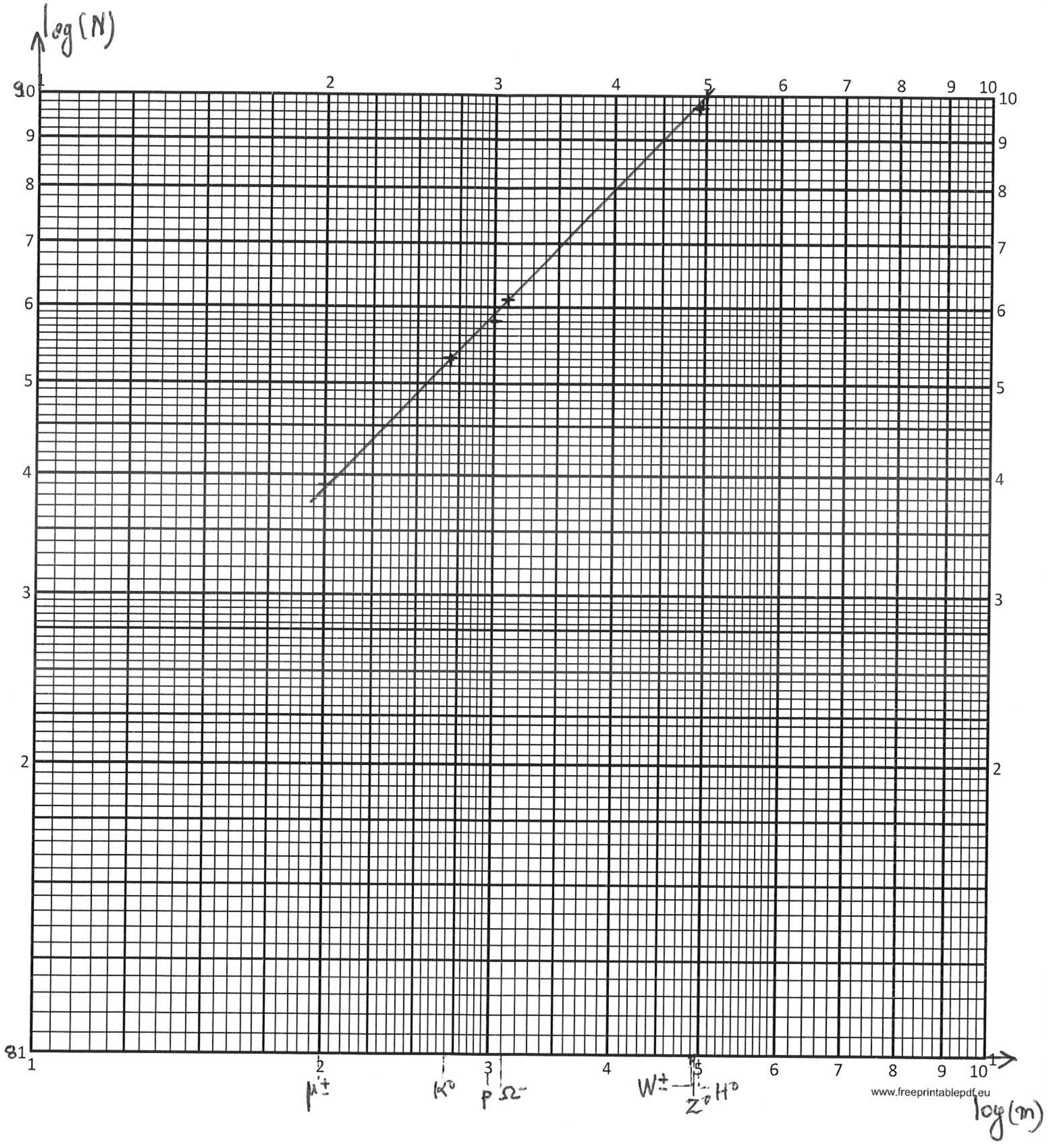

Fig01 : Courbe montrant le rapport de la corde à la longueur d'onde de Compton d'une particule

Références :

[1]J. S. Farnes « A unifying theory of dark energy and dark matter: Negative masses and matter creation within a modifiedΛCDM framework"

https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832898

[2]Muhammad Zahid Mughal , Iftikhar Ahmad and Juan Luis GarcíaGuirao "Relativistic Cosmology with an Introduction to Inflation" p32, https://www.mdpi.com/2218-1997/7/8/276/pdf

[3]Laurent Nottale « Nature et valeur de la constante cosmologique » https://luth.obspm.fr/~luthier/nottale/arAvLambda.pdf

[4]A.Kouki « Introduction to quantum gravity» https://vixra.org/abs/2106.0172

[5]Nathalie Deruelle "Introduction aux équations d'Einstein de la relativité générale » , http://www.phys.ens.fr/IMG/pdf/docRG.pdf

[6]WIKIPEDIA « Sixième Problème de Hilbert », https://fr.wikipedia.org/wiki/Sixi%C3%A8me_probl%C3%A8me_de_Hilbert#:~:text=Le%20sixi%C3%A8me%20probl%C3%A8me%20de%20Hilbert,formulation%20explicite%20en%20fran%C3%A7ais%20est%20%3A&text=Traitement%20math%C3%A9matique%20des%20axiomes%20en%20physique

[7]G.JordanMaclay « History and Some Aspects of The Lamb Shift" https://www.mdpi.com/2624-8174/2/2/8/pdf

[8]Mark.D.Roberts "Vacuum Energy", page 9 ,https://www.semanticscholar.org/paper/Vacuum-Energy-D.Roberts/f6624d15106f51eb9c7522a62c334d5ac64e5fc3

[9] A. Kouki « The hidden constants » , https://vixra.org/abs/2105.0040

[10]LibreTexts" Deriving the Wien's Displacement Law from Planck's Law"

https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Quantum_Mechanics/02._Fundamental_Concepts_of_Quantum_Mechanics/Deriving_the_Wien's_Displacement_Law_from_Planck's_Law

[11] Gilbert Gastebois '' Le corps noir''http://gilbert.gastebois.pagespersoorange.fr/java/planck/theorie_planck.pdf

[12] Pierre Labastie « Mécanique quantique, L3 Physique Fondamentale, premier semestre 2010-11 » pp50 , http://www.lcar.ups-tlse.fr/IMG/pdf/Poly-2.pdf

[13] E.H.Wichmann , Berkley cours de physique volume 4, « Physique quantique » pp152, Armand Colin –Paris 1974.

[14] JP Rozet « Quantification de l'énergie : le photon » , http://www.edu.upmc.fr/physique/licence/pf/IMG/pdf_LIC0507.pdf