Propriétés du champ électrostatique

26/02/2023

Liaison avec le champ gravitationnel

Pascal DUBOIS

Mots-clés : champ gravitationnel ; gravitation ; interaction gravitationnelle ; rayon de Schwarzschild ; champ électrostatique ; champ électrique ; interaction électrostatique ; charge ; désintégration du neutron ; proton ; électron ; constante de structure fine.

Résumé :

La démarche adoptée pour construire le champ gravitationnel peut être transposée au champ électrostatique : l'interaction électrostatique résulte d'un échange d'énergie entre les particules chargées et le champ global qu'elles créent.

L'attribution d'une énergie négative au champ permet d'expliquer la répulsion des charges de même signe et l'attraction des charges opposées. Comme le champ gravitationnel, le champ électrostatique est caractérisé par son énergie et son rayon d'action limite ; il est périodiquement rafraîchi par des ondes assurant l'échange d'énergie entre charges et champ.

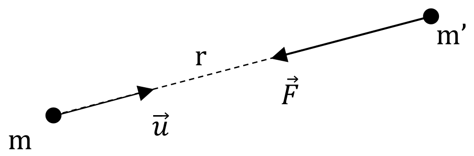
L'analyse de la désintégration du neutron libre permet de dériver la création du champ électrostatique entre proton et électron du champ gravitationnel associé à ces deux particules. L'interprétation que nous proposons n'oblige pas à faire appel à l'émission d'un antineutrino électronique : l'énergie finale de l'électron résulte des pertes d'énergie qu'il subit en s'éloignant dans le champ gravitationnel, puis électrostatique.

Les paramètres du champ (énergie et rayon) associé au proton ou à l'électron sont variables, mais caractérisés par leur produit qui est, lui, constant. Cette constance traduit la constance du ratio entre fréquence énergétique des ondes et fréquence de rafraîchissement.

Ce dernier ratio peut être assimilé à la constante de structure fine.

1. Propriétés du champ gravitationnel

Dans la théorie de la gravitation newtonienne, l'attraction gravitationnelle est modélisée par l'intermédiaire d'un champ vectoriel proportionnel à la masse source du champ et variant en raison inverse du carré de la distance à celle-ci. La force exercée entre deux sources est égale au produit de la masse d'une source par le vecteur champ attaché à l'autre source :



$$\vec{F} = m' \vec{G}(\vec{r}) = -(Gmm'/r^2)\,\vec{u} \qquad (1.1)$$

Nous avons proposé une nouvelle approche énergétique de la gravitation[1] conservant le principe de décroissance en $1/r^2$. En revanche :

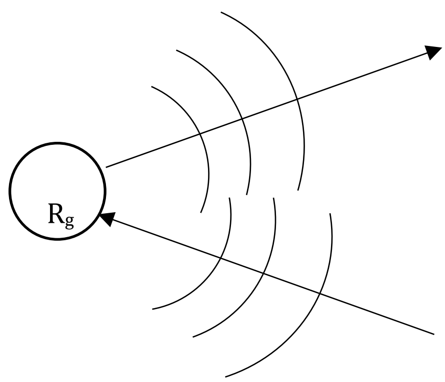
- ce ne sont plus les masses au repos des sources gravitationnelles qui sont prises en compte, mais leurs énergies totales ;
- l'énergie au repos varie lorsque la distance entre les sources varie.

Le champ gravitationnel, qui a une réalité physique, est considéré comme une distribution d'énergie dans l'espace entier, exception faite d'une boule de rayon R_g centrée sur la source (ce qui permet de conserver une valeur finie à l'énergie totale du champ W_g).[2] L'énergie contenue dans une coque sphérique de rayon r et d'épaisseur dr s'écrit :

$$dW_c = (R_g/r^2)\, W_g\, dr \qquad (1.2)$$

Un rafraîchissement du champ s'effectue de façon périodique à partir de deux ondes gravitationnelles sphériques se déplaçant à la vitesse de la lumière [3] :

- l'une propageant depuis la source de l'énergie qu'elle cède progressivement au champ ;
- l'autre propageant vers la source l'énergie qu'elle prélève sur le champ.



A la limite R_g du champ, chaque onde transporte une énergie égale à l'énergie de la source (W). A la distance r de la source, l'énergie transportée vaut :

$$W(r) = (R_g/r)\, W \qquad (1.3)$$

A chaque rafraîchissement du champ, l'émission et la réception d'énergie se font de façon alternée en un temps :

$$T = \mathbf{c}/R_g. \quad ^4 \qquad (1.4)$$

[1] Cf note « Une autre approche de la relativité ».
[2] Cf note « Champ gravitationnel, Principe fondamental de la dynamique et Mécanique quantique ».
[3] Ces ondes ne sont pas de même nature que celles qui sont définies dans la théorie de la relativité générale.
[4] La note citée en [2] montre que ce choix permet d'établir l'équation fondamentale de la dynamique à partir du champ gravitationnel.

Le choix de prendre l'énergie maximale transportée par les ondes gravitationnelles égale à l'énergie de la source [5] conduit à prendre pour limite d'extension du champ le rayon de Schwarzschild [6]:

$$R_g = 2\,G\,W/\,\mathbf{c}^4 = 2\,Gm/\mathbf{c}^2 \tag{1.5}$$

Pour $r \gg R_g$ on peut considérer que la relation (1.1) reste valable :

$$\vec{F} = W'\,\vec{G}(\vec{r}) = -\,(G\,W\,W'/\,\mathbf{c}^4\,r^2)\,\vec{u} \tag{1.6}$$

L'interaction gravitationnelle consiste en un échange d'énergie entre les sources gravitationnelles et le champ global créé par ces sources.

Ce champ global s'obtient, comme dans la gravitation newtonienne, par addition vectorielle des champs individuels. Il comporte une part d'énergie d'interaction s'ajoutant à l'énergie des champs des sources supposées isolées.

L'expression de l'énergie d'interaction, opposée à l'énergie potentielle[7], fait apparaître un facteur 2 par rapport à l'expression newtonienne. Cela en raison de la variation de l'énergie au repos :

$$E_{ig} = 2\,G\,W\,W'/\,\mathbf{c}^4\,r \tag{1.7}$$ [8]

2. Construction du champ électrostatique

2.1. Analogie avec le champ gravitationnel

La force s'exerçant entre deux charges fixes q et q' est donnée par la loi de Coulomb, qui s'écrit de façon analogue à la loi donnant l'attraction gravitationnelle :

$\vec{F} = q'\,\vec{E}(\vec{r}) = (qq'/\,4\pi\varepsilon_0\,r^2)\,\vec{u}$ $\vec{E}(\vec{r})$ étant le vecteur champ électrostatique. (2.1)

Notons que le champ électrostatique se rapproche parfaitement du champ gravitationnel newtonien car les charges sont réputées invariables, comme les masses au repos de la relation (1.1).

La première différence par rapport à l'interaction gravitationnelle tient au fait que les charges se présentent sous forme de charges élémentaires qui ne peuvent pas être fusionnées. On s'intéressera donc à l'interaction entre charges élémentaires de valeur (e) positive ou négative.

---

[5] La note citée en [2] montre que ce choix permet de faire jouer à l'onde gravitationnelle résultante le rôle de l'onde pilote imaginée par louis de Broglie.

[6] Cela n'est pas étonnant puisque, dans la comparaison faite entre notre approche de la gravitation et la théorie de la relativité générale, nous nous référons à la métrique de Schwarzschild, qui est précisément définie à l'extérieur de la sphère de rayon R_g.

[7] Avec un potentiel nul à l'infini.

[8] Expression valide pour $r \gg R_g$.

Deuxièmement, les charges de même signe se repoussent tandis que les charges de signes contraires s'attirent. Cela oblige à attribuer une énergie négative au champ électrostatique créé par une charge isolée, de façon que l'énergie d'interaction soit négative lorsque les charges sont de même signe.

D'autre part, si les charges sont mobiles, il est nécessaire d'introduire le champ magnétique lié à leur déplacement. Notons toutefois que le raisonnement basé sur le seul champ électrostatique reste valide si la charge mobile se déplace radialement par rapport à la charge considérée comme fixe.

Une troisième différence doit être signalée : on ne peut pas associer a priori une énergie à une charge donnée, comme on le fait pour la masse d'une source gravitationnelle. Nous verrons plus loin quelles conséquences cela implique pour les caractéristiques du champ électrostatique.

En raisonnant pour construire le champ électrostatique de la même façon que nous l'avons fait pour le champ gravitationnel, on obtient les caractéristiques reportées dans le tableau suivant :

	Champ gravitationnel	***Champ électrostatique***
Champ créé par une source gravitationnelle ou une charge élémentaire isolée		
Vecteur champ	$\vec{G}(\vec{r}) = -(GW/\mathbf{c}^2 r^2)\,\vec{u}$	$\vec{E}(\vec{r}) = (e/\,4\pi\varepsilon_0\, r^2)\,\vec{u}$
Densité d'énergie du champ [9]	$\delta W_g(r) = (R_g/4\pi r4)W_g$ $= (1/4\pi G)(GW/\mathbf{c}^2 r^2)^2$	$\delta W_q(r) = (R_q/4\pi r^4)W_q$ $= -(\varepsilon_0/2)(e/\,4\pi\varepsilon_0\, r^2)^2$
Relation entre rayon et énergie du champ	$\boxed{R_g\, W_g = GW^2/\mathbf{c}^4 \qquad (2.2)}$	$\boxed{R_q\, W_q = -\,e^2/\,8\pi\varepsilon_0 \qquad (2.3)}$
Energie totale du champ	$W_g = W/2$ [10]	*Voir paragraphe 2.3.*
Rayon du champ	$R_g = 2GW/\mathbf{c}^4$ rayon de Schwarzschild	*Voir paragraphe 2.3.*
Périodicité de rafraîchissement	$T_g = 2R_g/\mathbf{c}$	$T_q = 2R_q/\mathbf{c}$
Champ créé par deux sources gravitationnelles ou deux charges élémentaires		
Energie d'interaction	$Ei_g = 2\,G\,W\,W'/\,\mathbf{c}4\,r \qquad (r \gg R_g)$	$E_{iq} = -\,e\,e'/\,4\pi\varepsilon_0\, r$ [11] (2.4)

[9] La densité d'énergie du champ peut s'exprimer de deux façons :
- d'une part à partir du rayon et de l'énergie totale du champ,
- d'autre part à partir du carré du vecteur champ (cf. note « Champ gravitationnel, Principe fondamental de la dynamique et Mécanique quantique », paragraphe 1.2.2. Interaction de deux sources.

[10] W_g est la valeur moyenne de l'énergie du champ.

[11] En ce qui concerne l'énergie d'interaction, on peut admettre que la relation (2.4) donnant E_{iq} est valable quel que soit la distance r entre les charges en raison de l'invariance de ces dernières, rappelée plus haut.

2.2. Désintégration du neutron libre

A partir du phénomène de désintégration du neutron libre, nous allons proposer une explication de l'apparition du champ électrostatique.

La désintégration du neutron libre est présentée comme un processus faisant intervenir l'interaction faible, au cours duquel un neutron (n) non lié à d'autres nucléons se désintègre spontanément en un proton (p), un électron (e-) et un antineutrino électronique ($\bar{\nu}$ -) :

$$n \rightarrow p + e- + \bar{\nu} - \qquad (2.5)$$

L'énergie de désintégration Q s'obtient à partir de la différence des masses au repos avant et après réaction :

$$Q = (m_n - m_p - m_é)\,\mathbf{c}^2 = 0{,}782 \text{ MeV} \qquad (2.6)$$

Q est convertie en énergie cinétique qui se répartit entre l'électron et l'antineutrino. [12]

Notons que c'est le constat expérimental de la variabilité de l'énergie cinétique de l'électron qui a conduit à imaginer l'existence du neutrino emportant une partie de l'énergie.

<u>Création du champ électrostatique</u>

Sans faire appel au modèle standard des particules, le processus peut être décrit comme figuré sur le schéma ci-dessous en se plaçant sous l'angle des champs. **Nous supposons que l'interaction gravitationnelle, puis électrostatique, s'initie à très faible distance du proton et affecte donc l'énergie de l'électron avant mesure.**

Temps 0	Distance d'ordre R_g	Distance égale à 2 R_q	Grande distance
Neutron seul	Dissociation proton – électron Champ gravitationnel	Champ électrostatique	Mesure de l'énergie cinétique de l'électron
$m_n \mathbf{c}^2$	$X = m_n \mathbf{c}^2 - m_p \mathbf{c}^2$ $m_p \mathbf{c}^2$ Energie d'interaction E_{ig}	$X - E_{ig}$ $m_p \mathbf{c}^2$ Energie d'interaction E_{iq}	$X - E_{ig} - E_{iq}$ $m_p \mathbf{c}^2$ Energie d'interaction nulle

(nous supposons que l'électron s'éloigne radialement du proton)

Nous considérons que l'interaction gravitationnelle proton – électron est initiée à une distance de séparation de même ordre que R_g, rayon d'action du champ gravitationnel du proton. L'énergie portée par l'électron est alors :

$$X = m_n \mathbf{c}^2 - m_p \mathbf{c}^2$$

[12] En raison de la conservation de la quantité de mouvement, l'énergie cinétique transférée au proton est très faible.

D'où provient le supplément d'énergie E_{ig} *par rapport au champ préexistant du neutron ?*

Nous postulons que cette énergie d'interaction est en quelque sorte prélevée sur l'énergie du vide, créant un champ négatif, à l'origine du champ électrostatique.

On peut imaginer, qu'à une distance égale à $2\ R_q$ (grande devant R_g), s'établit un champ électrostatique présentant les caractéristiques suivantes :

- les charges associées au proton (+ e) et à l'électron (- e) pris isolément créent des champs identiques ayant un rayon limite R_q et une énergie :

$$W_q = -\ E_{ig}\ ;$$

- l'énergie d'interaction vaut : $E_{iq} = -\ W_q = E_{ig}$ (application des formules 2.3 et 2.4 avec $r = 2\ R_q$).

Le rayon du champ vaut : $R_q = e^2/\ (8\pi\varepsilon_0\, E_{ig})$

L'énergie totale du champ est égale à : $2\ W_q - W_q = -\ Ei_g$. Ce qui satisfait au postulat énoncé plus haut.

A la distance $2\ R_q$ l'énergie totale de l'électron est réduite de E_{ig}, du fait de son éloignement dans le champ gravitationnel.

A très grande distance (emplacement de mesure), l'énergie de l'électron est réduite de E_{iq} du fait de son éloignement dans le champ électrostatique.

Au total la réduction est égale à $(E_{ig} + E_{iq})$, soit $2\ E_{ig}$.

En désignant par $E_é$ l'énergie cinétique de l'électron, on peut finalement écrire :

$$m_é\ \mathbf{c}^2 + E_é = m_n\ \mathbf{c}^2 - m_p\ \mathbf{c}^2 - 2\ E_{ig}$$

Soit :

$$(m_n - m_p - m_é)\ \mathbf{c}^2 = E_é + 2\ E_{ig} \qquad (2.7)$$

Par rapprochement avec la relation (2.6), on identifie l'énergie de l'antineutrino à $2\ E_{ig}$.

L'interprétation que nous proposons n'oblige pas à faire appel à l'émission d'une troisième particule : l'énergie finale de l'électron résulte des pertes d'énergie qu'il subit en s'éloignant dans le champ gravitationnel, puis électrostatique.

La distribution de l'énergie cinétique de l'électron est alors calquée sur la distribution de l'énergie d'interaction gravitationnelle entre proton et électron au début de la désintégration. [13]

Finalement, nous avons à choisir entre :

- une interprétation qui donne une réalité physique aux champs et qui suppose que l'échange d'énergie s'effectue par le biais d'ondes assurant en permanence le rafraîchissement de ceux-ci ;
- une interprétation qui suppose la création de particules portant l'énergie d'interaction.

---

[13] Pour analyser cela plus en détail, il faut disposer d'un modèle d'interaction gravitationnelle valide lorsque la distance entre sources ne peut plus être considérée comme très grande devant le rayon de leurs champs individuels.

2.3. Propriétés du champ électrostatique

Dans l'interprétation que nous venons de proposer, l'énergie du champ électrostatique du proton et de l'électron n'est pas une constante ; il en est de même pour le rayon limite d'action du champ, énergie et rayon étant liés par la relation (2.3) :

$$R_q\, W_q = -\ e^2 / 8\pi\varepsilon_0$$

La valeur minimale de R_q est obtenue pour $|W_q|$ max = $Q/2 = 0{,}391$ MeV (cf. relation (2.6)) :

$$R_q \min = 1{,}84\ 10^{-15}\ \mathrm{m}$$

Cette valeur représente un peu plus du double du rayon du proton ($0{,}83\ 10^{-15}$ m).

La valeur maximale de R_q pourrait être beaucoup plus élevée puisque les mesures de l'énergie cinétique de l'électron donnent des maximums très proches de Q.

Par analogie avec le raisonnement tenu pour le champ gravitationnel, supposons que :

- la durée d'émission et de réception des ondes de rafraîchissement du champ soit égale à $R_q/\mathbf{c}$; la période de rafraîchissement vaut :

$$T_q = 2R_q / \mathbf{c}$$

- l'énergie maximale (en valeur absolue) transportée par chaque onde soit égale à $\mathbf{h}\,\nu_q$; l'énergie moyenne du champ vaut :

$$W_q = -\,\mathbf{h}\,\nu_q / 2$$

Considérons le produit de la période de rafraîchissement du champ par la fréquence (énergétique) des ondes de rafraîchissement :

$$T_q\,\nu_q = -\,4\,R_q\,W_q / \mathbf{h\,c} = e^2 / 2\pi\varepsilon_0\,\mathbf{hc} \qquad (2.8)$$

En introduisant la constante de structure fine ($\alpha = e^2 / 2\varepsilon_0\,\mathbf{hc}$), il vient :

$$T_q\,\nu_q = \alpha / \pi \qquad (2.9)$$

La relation (2.9) donne une interprétation physique simple de la constante de structure fine : celle-ci représente (au facteur 1/π près) le ratio entre fréquence énergétique et fréquence de rafraîchissement du champ électrostatique.

Remarque :
En ce qui concerne le champ gravitationnel, le produit analogue $T_g\,\nu_g$ n'est pas constant ; il varie comme le carré de l'énergie de la source :

$$T_g\,\nu_g = (4\,G / \mathbf{hc}^5)\,W^2$$

Soit, en introduisant la masse de Planck ($m_P = (\hbar\mathbf{c} / G)^{1/2}$) et la masse relativiste :

$$T_g\,\nu_g = (2/\pi)\,(m/m_p)^2 \qquad (2.10)$$