Une approche mécanicienne de la gravitation

Mayeul Arminjon

Laboratoire 3S (Sols, Solides, Structures),

Journées des doctorants, Autrans, 6 mai 2004

Plan

- Gravitation et poussée d'Archimède
  - L'interprétation d'Euler de la gravité de Newton
  - Un mécanisme néo-Eulérien et les conclusions qu'il suggère sur la description de la gravitation
- Relativité ou effets du mouvement et de la gravitation sur les montres et les mètres?
  - Effets du mouvem$^{\mathrm{nt}}$: la Relativité de Lorentz et Poincaré
  - Effets de la gravitation sur les montres et les mètres
- Dynamique relativiste et 2ème loi de Newton
- Principaux tests observationnels

Gravitation et poussée d'Archimède

L'interprétation d'Euler de la gravité de Newton

- L'attraction instantanée à distance de Newton ($\mathbf{F} = -\frac{GmM}{r^2}\mathbf{n}$) est efficace mais incompréhensible. (C'était déjà le point de vue de Newton lui-même!)

- Hypothèse 1 : les "moindres parties de la matière" ou "molécules" ont toutes la même densité (les différences de densité observées seraient dues au fait que les corps sont surtout composés de "pores")

- Hyp. 2 : ces "molécules" baignent dans un "fluide subtil" ou "éther" dont la pression *diminue* vers le centre du corps massif voisin, $p_e(\mathbf{x}) = p_e^\infty - \frac{A}{r}, \quad r \equiv |\mathbf{x}|$.

- La résultante des forces dues à p_e sur un petit volume est $\propto -\frac{m}{r^2}\mathbf{n}$: *l'attraction Newt. déduite d'une action locale*

Un mécanisme néo-Eulérien pour la gravité

- Résultante de la pression p_e sur un objet occupant un petit volume δV (poussée d'Archimède) : $\mathbf{F}_\mathrm{A} = -\delta V \,\mathrm{grad}\, p_e$.

- Si les particules élémentaires ont toutes la même densité $\rho_p = \delta m / \delta V$, alors $\mathbf{F}_\mathrm{A} = -\delta m \,\frac{\mathrm{grad}\, p_e}{\rho_p}$
$\Rightarrow$ accélération de la gravité : $\mathbf{g} = -\frac{\mathrm{grad}\, p_e}{\rho_p}$.

- Lucien Romani (1975) : Les particules élémentaires seraient elles-même des tourbillons dans l'éther (intéressant pour comprendre les créations/ annihilations et les "résonances" instables, tout cela observé en physique des particules). Dans ce cas, $\rho_p = \rho_e$, la "densité de l'éther". Alors

$$\mathbf{g} = -\frac{\mathrm{grad}\, p_e}{\rho_e}, \ \text{avec}\ \rho_e = \rho_e(p_e) \quad \text{(fluide barotrope)}.$$

Conséquences sur la description de la gravitation

- Eqn. $\mathbf{g} = -\frac{\mathrm{grad}\, p_e}{\rho_e}$ prise comme point de départ : remplace $\mathbf{g} = \mathrm{grad}\, U$ de la gravité Newtonienne.

- Celle-ci se propage instantanément $\Rightarrow$ correspond au cas limite d'un fluide incompressible : $\rho_e = \mathrm{Constante}$

- Or, gravité Newtonienne $\Leftrightarrow$ $\mathrm{div}\, \mathbf{g} = -4\pi G\rho$.
$\Rightarrow$ ds. cas incompressible, on doit avoir : $\Delta p_e = 4\pi G \rho \rho_e$.

- Dans le cas non-dégénéré (compressible), les modifs de p_e (ou de $\rho_e = \rho_e(p_e)$) devraient se propager à la vitesse du "son",

$$c_e = \left(\frac{\mathrm{d}p_e}{\mathrm{d}\rho_e}\right)^{1/2}.$$

La relativité de Lorentz et Poincaré

Relativité restreinte : repose sur *transfo. de Lorentz* reliant coordonnées d'espace & temps dans 2 réfs. d'inertie

- Ether de Lorentz : Réf. d'inertie t.q. éqs. de Maxwell valides et t.q. $\forall$ objet mobile à $\mathbf{v}$, $\exists$ "contraction de Lorentz" $\|\mathbf{v}$
- Ds ce modèle, contract$^{\mathrm{n}}$ de Lorentz $\Leftrightarrow$ Michelson-Morley=0 *mais* la contract$^{\mathrm{n}}$ intervient naturellement : pas "ad hoc"
- On montre que *la physique est ralentie* ds réf. mobile/éther

On a la transfo. de Lorentz et toute la Relativité, sans changer le concept d'espace et de temps.

L'espace-temps est un *concept mathématique* très utile

Effets de la gravitation sur les montres et les mètres

- Pour Relativité (restreinte) : espace & temps *homogènes*
- Si gravité due à *gradient* de densité ds un fluide *universel*, on s'attend au contraire à espace & temps *hétérogènes*
- Contract$^{\mathrm{n}}$ des mètres et ralentiss$^{\mathrm{nt}}$ des montres ds réf. mobile/ éther en Relativité : liés à une densité ρ_e + faible
- On est conduit à postuler une contract$^{\mathrm{n}}$ des mètres et un ralentissement des montres ds un champ de gravitation, dans le rapport $\beta \equiv \rho_e(\mathbf{x}, T)/\rho_e^{\infty}(T)$.
- Mais la contract$^{\mathrm{n}}$ gravitationnelle peut avoir lieu :
  - soit, comme en relat restr, ds 1 seule direction, donc $\mathbf{g}$
  - soit uniformém$^{\mathrm{t}}$ ds ttes les directions (espace isotrope)

Dynamique relativiste et 2ème loi de Newton

- En Relativité restreinte, la 2ème loi de Newton est modifiée :

$$\mathbf{F} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{P}}{\mathrm{d}t}, \quad \mathbf{P} \equiv m(v)\mathbf{v}, \quad m(v) \equiv m(0).\gamma_v, \quad \gamma_v \equiv \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

- En Relativité *Générale*, il n'y a *pas* de 2ème loi de Newton : "les particules suivent les géodésiques de l'espace-temps". Ainsi, en R.G., l'espace-temps devient "physique". Conséquence : les voyages dans le temps deviennent possibles (et sans doute les paradoxes qui vont avec eux).

- Ds l'approche mécanique (gravité = poussée d'Archimède, effets "relativistes" = effets du mvt & de la gravité sur les montres & les mètres), il *faut* la 2ème loi de Newton.

2ème loi de Newton ds un “espace-temps courbe”

- On considère un référentiel *donné*.
  $\forall t, \exists$ une métrique (produit scalaire dépendant du point $\mathbf{x}$) $\boldsymbol{g}_{\mathbf{x},t}$, dépendant en général aussi du *temps* t.

- Force gravit. doit être $m(v)\mathbf{g}$. **Pb**: définir $\mathrm{d}\mathbf{P}/\mathrm{d}t$ ($\mathbf{P} \equiv m(v)\mathbf{v}$)

- Pour champ gravit. constant, $\boldsymbol{g} = \boldsymbol{g}_{\mathbf{x}}$ indépendant de t.
  Alors on connaît une “dérivée absolue” du vecteur $\mathbf{P}$.

- Cas général : on peut montrer qu'avec règle de Leibniz $\exists$ définition *unique* pour la dérivée de $\mathbf{P}$.

- On a ainsi défini la 2ème loi de Newton. Pour un champ constant, *ce mvt. suit les géodésiques d'espace-temps*.

Dynamique d'un milieu continu

Elle s'obtient en considérant de la “poussière” i.e. un milieu continu formé de particules non-interagissantes, soumises à la force de gravité

- Pour la poussière, on peut utiliser la 2ème loi de Newton
- On obtient alors une équation pour le 4-tenseur “énergie-flux-contraintes” (partie espace = contraintes)
- A cause de l'équivalence masse-énergie et de l'universalité de la gravitation, cette équation doit rester valable pour un milieu continu quelconque
(y compris un champ électromagnétique)

Principaux tests observationnels

- *On retrouve la théorie de Newton en 1ère approximation*. Les corrections sont très petites par ex. ds le système solaire. Un gros effort a été fait pour les calculer en détail.
- Structure interne des corps intervient en méca. céleste.
- Avec la contraction anisotrope, cette influence subsiste pour un corps très petit : violation de l'universalité de la chute libre $\Rightarrow$ contraction isotrope étudiée maintenant.
- *On a les mêmes effets qu'en RG pour les rayons lumineux*.
- La perte d'énergie par rayonnement gravitationnel a la même structure qu'en RG, donc les "pulsars binaires" devraient être bien décrits.

Conclusion

- Théorie basée sur un mécanisme
  (gravitation = force de pression)

- Utilise les concepts de la mécanique classique

- En bon accord avec l'observation
  (test en mécanique céleste à reprendre avec contraction isotrope; de plus, il faudrait ajuster directement sur les observations, pas sur une éphéméride "RG")

- $\exists$ prédictions originales, par ex.:
  création/destruction de matière (en quantités très petites) ds un champ gravitationnel variable.