

Simulations numériques d'électrosphères stationnaires d'étoiles à neutrons avec des paramètres réalistes

F. Mottez

LUTH, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS 5 place Jules Janssen, 92190 Meudon, France.

Journées de la SF2A 2023, Strasbourg, Session S03

RÉSUMÉ

Contexte. L'environnement d'une étoile à neutrons est celui d'une sphère (l'étoile) conductrice d'électricité, fortement magnétisée, et en rotation. En l'absence de phénomènes radiatifs de haute énergie conduisant à la création de paires d'électrons positrons, ces environnements se structurent en formant deux dômes opposés constitués de particules d'une charge donnée, et d'une ceinture entourant l'étoile formée de particules de charge opposée (voir la figure). En raison des écarts de charges importants, on nomme ces structures des électrosphères. Lorsque le champ magnétique possède un axe de symétrie, et que celui-ci n'est pas aligné avec l'axe de rotation de la sphère/étoile, on parle d'électrosphère oblique. Des modèles d'électrosphères alignées ont été produits dès les années 2000-2010. En revanche, les simulations d'électrosphères obliques se font rares. À ma connaissance, un seul article en présente, sans donner de détails.

But. Je présente des simulations d'électrosphères obliques produites très récemment, dans le but de décrire au mieux les processus cinétiques, sans faire d'hypothèse du type MHD ou de champs sans force (*force-free*).

Méthode. Ces simulations sont effectuées à l'aide d'un code spécifique. Il est gouverné par un algorithme mêlant des aspects des codes de type particuliers (PIC), et de type Vlasov (avec 3 dimensions en espace, et une en impulsion). Le calcul des champs électromagnétiques est effectué sur une grille de forme sphérique, en décomposant les fonctions en harmoniques sphériques vectorielles pour la partie angulaire, et en polynômes de Chebychev sur un ensemble de domaines emboîtés pour la partie radiale. Le mouvement relativiste des particules est obtenu par la résolution d'une équation relativiste relativement peu connue, que j'ai redémontrée, adaptée à la fois à des champs magnétiques très forts, ou modérés, ou nuls. Le rendu du mouvement dans le cas des champs magnétiques forts est celui du centre-guide des particules. Le parti pris de la recherche de solutions stationnaires permet d'accélérer considérablement les calculs. Une simulation prend moins d'une heure avec 3 coeurs Intel Core i7. Il n'y a pas de grandeurs réduites, il est possible de conduire les simulations avec des paramètres réalistes.

Où j'en suis. Trois articles présentant les simulation et les méthodes implémentées dans le code sont en préparation. Cette présentation est donc une avant première, et le format "atelier" des sessions de la SF2A me permettra, je l'espère, des retours, notamment de la part des "pulsaristes" qui seront présents.

Perspectives. Lorsque les particules d'une électrosphère sont assez énergétiques pour émettre des rayonnements gamma qui engendrent des paires d'électrons et positons, l'environnement de l'étoile passe du statut d'électrosphère à celui de magnétosphère de pulsar (oblique ou alignée). À terme, l'objectif est d'adapter ce code à la simulation des pulsars. Comme on aime donner un nom à tout, j'ai nommé ce code "Pulsar ARoMa" pour *Asymmetric Rotating Magnetospheres*.

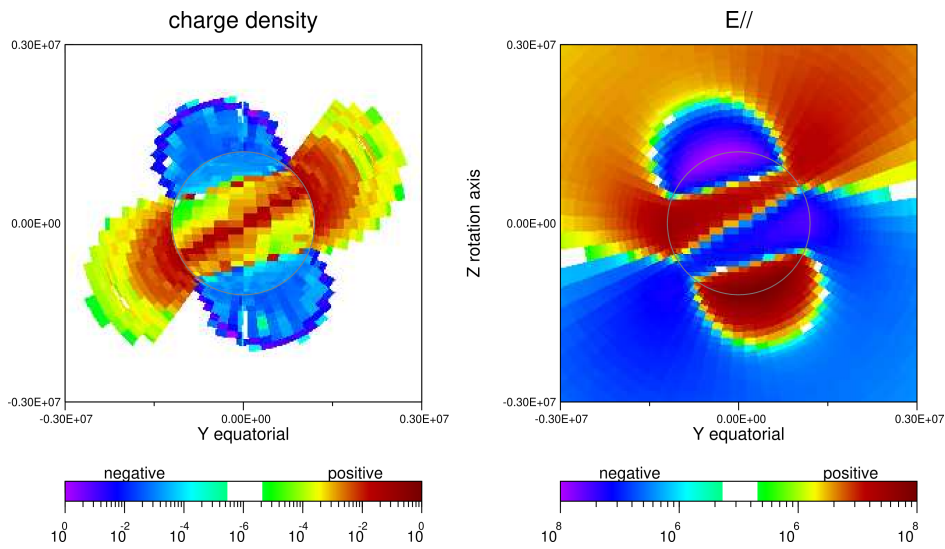


Fig. 1. Densité de charges et champ électrique parallèle d'une électrosphère. La figure représente les valeurs à la surface de l'étoile (dans le cercle qui la représente), et dans un plan méridien (à l'extérieur de ce cercle). Rayon de l'étoile : 12 km. Champ magnétique dipolaire, valeur à la surface : 10^9 G, période de rotation : 10 ms. L'axe de rotation est vertical. L'axe magnétique est incliné de 30 degrés par rapport à l'axe de rotation. Echelles logarithmiques en couleurs froides pour les valeurs négatives, en couleurs chaudes pour les valeurs positives. Système d'unités employés : CGS.

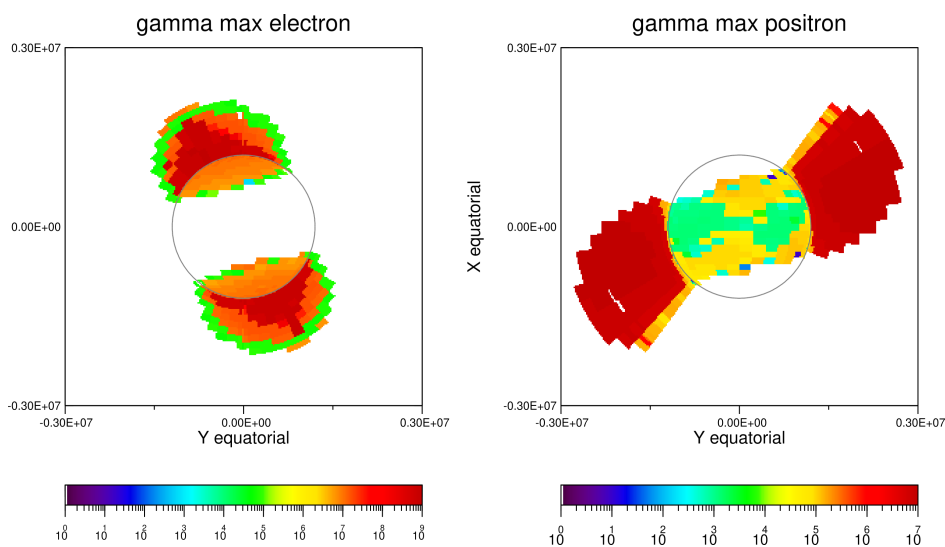


Fig. 2. Même simulation. A gauche, facteur de Lorentz maximal atteint par les électrons. A droite, facteur de Lorentz maximal atteint par les positrons.