

Modelli di equilibrio per stelle di neutroni con campo magnetico in Relatività Generale

Candidato: Antonio Graziano Pili
Relatore: Niccolò Bucciantini
Correlatore: Luca Del Zanna

pili@arcetri.astro.it
niccolo@arcetri.astro.it
ldz@arcetri.astro.it

L'interesse nel ruolo del campo magnetico nell'ambito delle configurazioni di equilibrio delle stelle di neutroni trova le sue motivazioni nelle recenti osservazioni astronomiche riguardanti gli AXPs e le SGRs. Le straordinarie caratteristiche di queste sorgenti, infatti, sono spiegabili ammettendo che il motore centrale dell'emissione sia costituito da una *magnetar*, una stella di neutroni munita di un campo magnetico particolarmente intenso che, alla superficie della stella, può eccedere i 10^{14} G fino ad un massimo di $\sim 10^{16}$ G mentre all'interno, in linea di principio, può raggiungere i 10^{18} G. Campi magnetici di questa portata, oltre a condizionare in modo sostanziale la fenomenologia dell'emissione di questi oggetti, possono introdurre delle importanti modifiche anche nella struttura, nelle proprietà e nell'evoluzione delle stelle di neutroni.

Lo studio dettagliato di questi aspetti e dei processi dinamici che coinvolgono campi magnetici così elevati in regime general-relativistico richiede, data la complessità delle equazioni in gioco, l'utilizzo di metodi numerici e, come punto di partenza, lo sviluppo di modelli di equilibrio. In questo lavoro di tesi abbiamo perciò calcolato dei modelli di equilibrio per stelle di neutroni magnetizzate ammettendo delle diverse configurazioni del campo magnetico e indagando gli effetti che ciascuna configurazione ha sulla struttura e sulle proprietà della stella. In particolare ci siamo concentrati sullo sviluppo di modelli di equilibrio statico e assisimmetrico in approssimazione XCFC (eXtended Conformally Flat Condition) ammettendo che la materia della stella di neutroni sia descrivibile nell'ambito della MHD ideale e attraverso un'equazione di stato di tipo politropico. In queste ipotesi abbiamo prima sviluppato un formalismo che ci permettesse di descrivere le condizioni che una configurazione di equilibrio deve soddisfare, sia nel caso di campi magnetici poloidali, sia toroidali, sia misti. Abbiamo poi realizzato una serie di algoritmi per la soluzione numerica delle equazioni di interesse, integrati all'interno del software XNS, con i relativi strumenti di visualizzazione. Questo ci ha permesso di caratterizzare in grande dettaglio i nostri modelli, grazie anche all'introduzione di alcune specifiche grandezze globali. Abbiamo così esplorato lo spazio dei parametri relativo a ciascuna configurazione magnetica calcolando delle sequenze di equilibrio caratterizzate dalla costanza di una grandezza di interesse, come la massa gravitazionale o il momento di dipolo magnetico, oppure dalla costanza di uno dei parametri di magnetizzazione.

I risultati ottenuti, oltre a mostrare come le grandezze globali della stella dipendano dall'intensità del campo magnetico e dalla densità centrale della stella, mostrano anche come il campo magnetico intervenga nell'alterare la struttura e la simmetria della stella di neutroni determinandone una deformazione, che non dipende tanto da quanto è intenso il campo magnetico ma, piuttosto, da come questo è distribuito all'interno della stella. In particolare campi toroidali rendono la stella prolata mentre campi poloidali la rendono oblata. In più, nelle configurazioni di campo misto da noi ottenute, benché la componente energeticamente dominante sia quella toroidale, la deformazione della stella è dettata dalla componente poloidale del campo. Abbiamo infine considerato, nel caso puramente poloidale, l'introduzione di nuovi termini di corrente più concentrate nelle zone esterne della stella. Questi tuttavia incidono poco sulla struttura della stella e del campo magnetico al di fuori della sua superficie.

Le configurazioni di equilibrio ottenute, se lasciate evolvere nel tempo, possono essere utilizzate come punto di partenza per uno studio più dettagliato della stabilità e dell'evoluzione di questi sistemi mentre, utilizzando anche equazioni di stato più realistiche, un confronto tra i risultati ottenuti e le grandezze globali eventualmente misurabili, come la massa e il raggio della stella, potrebbe consentire di porre nuovi vincoli sulle proprietà della materia ad alte densità. Infine, una stima corretta delle deformazioni di quadrupolo indotte dalla presenza del campo magnetico potrebbe permettere di valutare l'osservabilità di eventuali onde gravitazionali emesse da questi sistemi da parte degli attuali rilevatori.