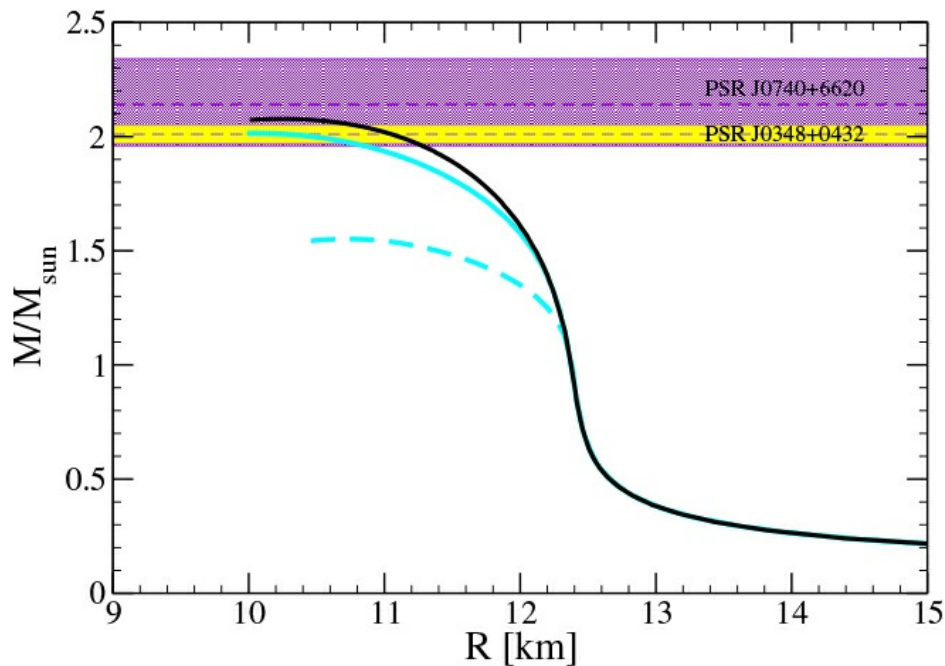


Stelle di neutroni: risolto l'*hyperon puzzle*?

✍ I. Bombaci 📅 27-02-2020 📄 <http://www.primapagina.sif.it/article/1085>



Relazione tra la massa M (in unità della massa del Sole) e il raggio R delle stelle di neutroni per tre differenti modelli stellari: stelle di neutroni "tradizionali" cioè costituite da nucleoni e prive di iperoni (curva nera); stelle iperoniche, calcolate senza includere la forza a tre corpi nucleone-nucleone-iperone (curva azzurra tratteggiata); stelle iperoniche calcolate includendo la forza a tre corpi nucleone-nucleone-iperone (curva azzurra continua). Le masse misurate per le stelle di neutroni nelle pulsar PSR J0348+0432 e PSR J0740+6620 sono riportate dalle due bande colorate in figura. La larghezza delle bande indica l'incertezza sul corrispondente valore della massa misurato (Figura adattata da Eur. Phys. J. A 55, 207 (2019)).

Le stelle di neutroni sono gli oggetti macroscopici più densi dell'Universo. Esse rappresentano il limite estremo oltre il quale la forza di gravità prende il sopravvento sulle altre forze della natura e conduce alla formazione di un buco nero. In una stella di neutroni una quantità di materia pari a circa 1,5 volte la massa del Sole è compressa dalla gravità entro una sfera dal raggio di 10 km circa. La densità media di queste stelle è pertanto di circa 700 milioni di tonnellate al centimetro cubo. Un pezzetto di questa materia delle dimensioni di una zolletta di zucchero peserebbe sulla Terra quanto alcune migliaia di grandi navi da crociera. Una densità così grande è paragonabile a quella che è presente al centro dei nuclei atomici.

A dispetto del loro nome, le stelle di neutroni non sono però costituite soltanto da neutroni, ma possiedono una struttura interna a gusci assai complessa, e in parte non completamente nota. Infatti, nella regione più interna della stella (il cosiddetto *core*) oltre ai neutroni e ai protoni (chiamati collettivamente nucleoni), potrebbero essere presenti varie particelle subatomiche come gli iperoni, e varie fasi della materia, come per esempio una fase in cui i quark sono deconfinati. Le stelle di neutroni rappresentano quindi degli incomparabili laboratori naturali per investigare i costituenti della materia e le loro interazioni, in condizioni fisiche estreme che non possono essere realizzate in nessun laboratorio terrestre.

Gli iperoni, i protagonisti della nostra storia, sono delle particelle che possono essere create negli acceleratori di particelle mediante collisioni tra protoni o neutroni e mesoni. Essi sono però delle particelle effimere e decadono nuovamente in protoni o neutroni e mesoni in un tempo di circa un decimo di miliardesimo di secondo. Gli iperoni possono legarsi a protoni e neutroni formando dei nuclei esotici instabili chiamati *ipernuclei* il cui studio fornisce preziose informazioni sulla forza che agisce tra iperoni, neutroni e protoni.

Dentro il *core* di una stella di neutroni, come conseguenza dell'enorme densità e della natura fermionica di neutroni e protoni (che obbediscono al principio di Pauli, come gli elettroni nell'atomo), gli iperoni possono essere formati spontaneamente e restare stabili sostituendosi in parte ai neutroni e ai protoni, generando quindi una nuova forma di materia chiamata "materia iperonica". La presenza degli iperoni nel *core* stellare ha però un effetto collaterale, che consiste in una significativa diminuzione della pressione all'interno della stella. La materia stellare diventa quindi più "soffice" e pertanto meno capace di opporsi alla compressione generata dalla forza di gravità. Come conseguenza di tutto ciò, la massa limite della stella, al di sopra della quale si ha il collasso a un buco nero, diminuisce.

Tutti gli studi teorici finora apparsi in letteratura, che ricavano le proprietà stellari a partire dalle interazioni forti tra neutroni, protoni e iperoni e senza fare delle assunzioni ad hoc su quest'ultime, predicano però per la massa limite della stella dei valori minori di quelli misurati per alcune stelle di neutroni che hanno masse di circa due volte la massa del Sole. Dunque da un lato la presenza degli iperoni nelle stelle di neutroni

sembra ineluttabile, ma dall'altro la loro presenza produce stelle di neutroni con masse non compatibili con i valori misurati. Questo risultato sconcertante è noto nella letteratura scientifica come *hyperon puzzle*.

Recentemente Ignazio Bombaci e Domenico Logoteta, entrambi dell'Università di Pisa e della Sezione dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) di Pisa, in collaborazione con Isaac Vidaña (della Sezione dell'INFN di Catania), hanno pubblicato un lavoro, sull'European Physical Journal A, in cui viene proposta una soluzione all'*hyperon puzzle*. L'aspetto innovativo di tale ricerca consiste nell'aver introdotto una forza a tre corpi tra nucleoni e iperoni, in aggiunta alle forze a due corpi tra queste particelle e a quella a tre corpi tra i nucleoni. La forza a tre corpi tra nucleoni e iperoni ha un duplice effetto sulle proprietà della materia stellare: fa sì che gli iperoni si formino nel *core* stellare a densità più alte, e inoltre ne riduce notevolmente la concentrazione. Questi due effetti combinati fanno aumentare la pressione e diventare più "rigida" la materia stellare rispetto al caso in cui le forze a tre corpi tra nucleoni e iperoni siano state ignorate. È così possibile ottenere "stelle iperoniche" (cioè stelle di neutroni contenenti iperoni) che hanno masse in accordo con i valori misurati, risolvendo in tal modo l'*hyperon puzzle*.

La rivelazione di onde gravitazionali emesse durante la coalescenza di due stelle di neutroni in un sistema stellare binario potrebbe indirettamente confermare l'esistenza degli iperoni all'interno delle stelle di neutroni, e quindi contribuire alla comprensione delle proprietà della materia a densità estreme.

Homepage: rappresentazione artistica di una stella di neutroni. Crediti: Eso/L. Calçada