

Lagrangiane relativistiche

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\text{octet}} = & \sum_k \bar{\Psi}_k (i\gamma_\mu \partial^\mu - m_k + g_{\sigma k} \sigma - g_{\omega k} \gamma_\mu \omega^\mu - \\ & g_{\rho k} \gamma_\mu \frac{\tau_k}{2} \cdot \rho^\mu) \Psi_k + \frac{1}{2} (\partial_\mu \sigma \partial^\mu \sigma - m_\sigma^2 \sigma^2) \\ & - \frac{1}{4} \omega_{\mu\nu} \omega^{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_\omega^2 \omega_\mu \omega^\mu - \frac{1}{4} \rho_{\mu\nu} \cdot \rho^{\mu\nu} \\ & + \frac{1}{2} m_\rho^2 \rho_\mu \cdot \rho^\mu + U(\sigma, \omega, \rho), \end{aligned}$$

Ottetto barionico (nucleoni e iperoni) in interazione con i campi mesonici (σ , ω e ρ) ed il potenziale non-lineare U

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_\Delta = & \bar{\psi}_{\Delta\nu} [i\gamma_\mu \partial^\mu - (m_\Delta - g_{\sigma\Delta} \sigma) - g_{\omega\Delta} \gamma_\mu \omega^\mu \\ & - g_{\rho\Delta} \gamma_\mu I_3 \rho_3^\mu] \psi_\Delta^\nu, \end{aligned}$$

Lagrangiana riferita alle isobare della delta (Δ^- , Δ^0 , Δ^+)

I mesoni leggeri (π , K , η , η') e (ρ , ω , K^* , ϕ) sono introdotti come particelle quasi libere dotate di potenziale chimico effettivo.

Potenziali dei singoli adroni :

(B: n° barionico, C: carica elettrica, S: stranezza)

$$\mu_i = b_i \mu_B + c_i \mu_C + s_i \mu_S.$$

Conservazione (globale) carica elettrica (C) e numero Barionico (B)

- **Materia b-stabile.**
- Richiesta **conservazione** carica elettrica **C** e barionica **B** globalmente.
- Gli unici leptoni presenti saranno gli elettroni e i muoni, essendo i neutrini fuggiti dal mezzo stellare nelle sue prime fasi evolutive (fase di proto-neutron star).
- Gli **iperoni** (Λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , Ξ^-) sono introdotti fissando il valore delle costanti di accoppiamento con i campi mesonici (σ , ω e ρ) per riprodurre il valore del corrispondente potenziale nucleare alla densità di saturazione nucleare.
- L'accoppiamento tra campi mesonici e le **isobare della Delta** (Δ^- , Δ^0 , Δ^+) è stato fatto scegliendo un range di valori possibili e permessi ottenuti in recenti esperimenti di scattering elettronico e pionico e fotoassorbimento su nuclei.
- Non disponiamo quindi di valori precisi, ma di un set di valori permessi da analizzare come vedremo in Fig1.

Fig 1.

(valori permessi di costanti di accoppiamento Delta-particles e campi mesonici)

2

A. Lavagno and D. Pigato / *Physica A* 531 (2019) 121595

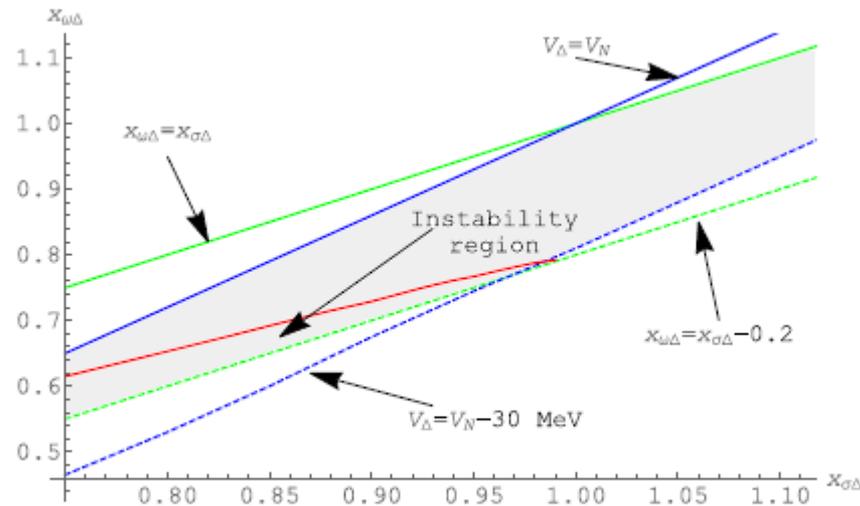


Fig. 1. Relation between the coupling ratios $x_{\omega\Delta}$ and $x_{\sigma\Delta}$ in terms of experimental constraints related to pion and electron scattering and from photoabsorption on nuclei. Below the red line, thermodynamic instabilities are present in the equation of state.

- In Figura (**area grigia**): regione di coupling permesse (valori sperimentali) tra campi mesonici e risonanze della Delta.
- Al di sotto della linea rossa si individua una regione di Instab. Termodinamica, dove una transizione di fase, da materia nucleare a delta-matter, è possibile.
- **Andremo ad analizzare in particolare, le configurazioni di parametri corrispondenti alla regione Instabile e agli effetti sul mezzo stellare**

Instabilità termodinamica in materia b-stabile

Fase di coesistenza ottenuta
mediante **costruzione di Gibbs**:

$$\mu_B^I = \mu_B^{II}, \quad \mu_C^I = \mu_C^{II}, \\ P^I(T, \mu_B, \mu_C) = P^{II}(T, \mu_B, \mu_C).$$

(è richiesta l'uguaglianza tra le Pressioni ed i potenziali chimici Barionici (B) e di Carica (C) nelle due Fasi)

Ogni qual volta per il sistema è energeticamente favorevole separarsi in 2 fasi a differente B e C, piuttosto che restare nella fase principale, una transizione di fase può avere luogo (nel sistema si genera una regione di Instabilità Termodinamica).

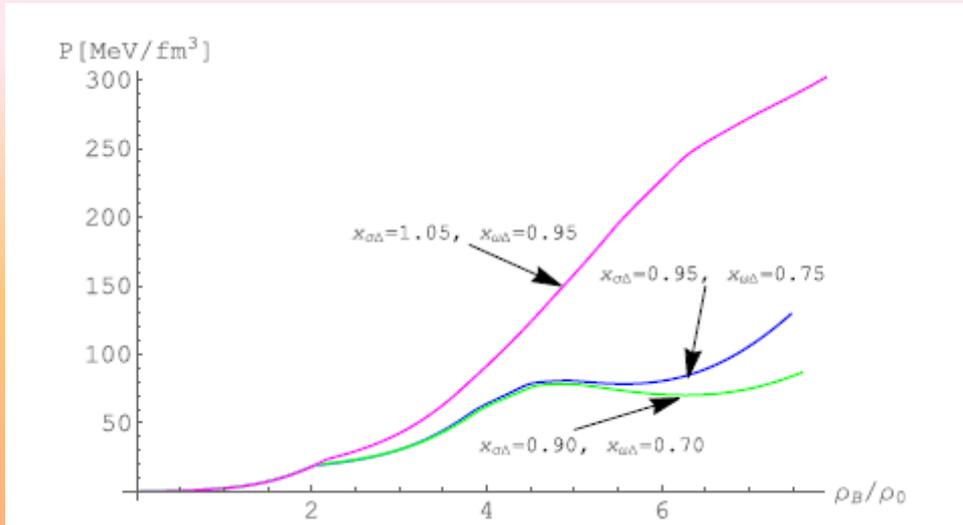
A)
$$\rho_B \left(\frac{\partial P}{\partial \rho_B} \right)_{T, \rho_C} > 0.$$

B)
$$\left(\frac{\partial \mu_C}{\partial r_c} \right)_{T, P} > 0 \text{ or } \begin{cases} \left(\frac{\partial \mu_B}{\partial r_c} \right)_{T, P} < 0, & \text{if } r_c > 0, \\ \left(\frac{\partial \mu_B}{\partial r_c} \right)_{T, P} > 0, & \text{if } r_c < 0. \end{cases}$$

Se le **condizione A** (Stabilità Meccanica) e/o **B** (Stabilità Chimica) **non sono rispettate**, il sistema va in contro ad una **transizione di fase**.

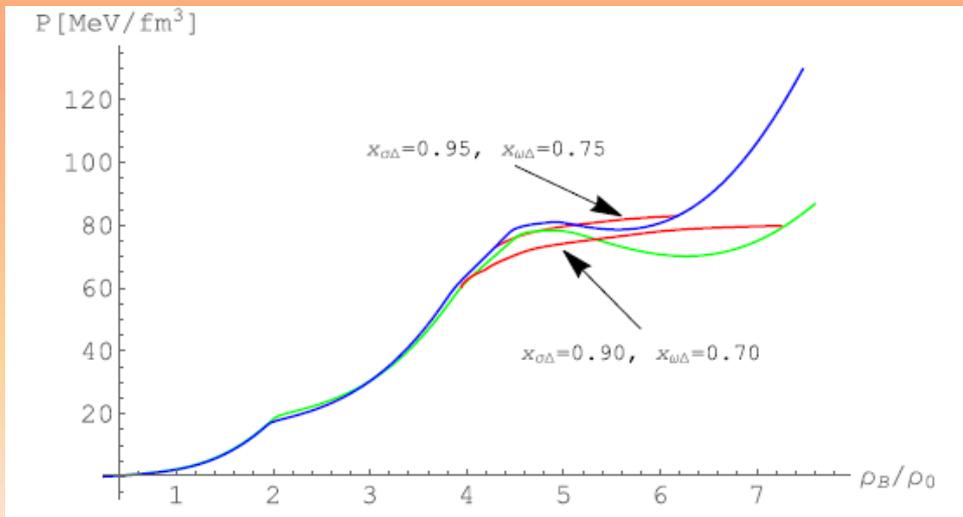
Il sistema si separa in **2 Fasi a differente B e C**, ma globalmente il loro valore è conservato.

Equazione di stato stellari (EOS)



Esempio di Insorgenza di Instabilità Meccanica nelle equazioni di stato stellari (linee Blu e Verdi) e conseguente transizione di fase.

Per accoppiamenti maggiori (linea Viola), il sistema è stabile ed evolve verso una configurazione ricca di nucleoni, iperoni e risonanze della delta

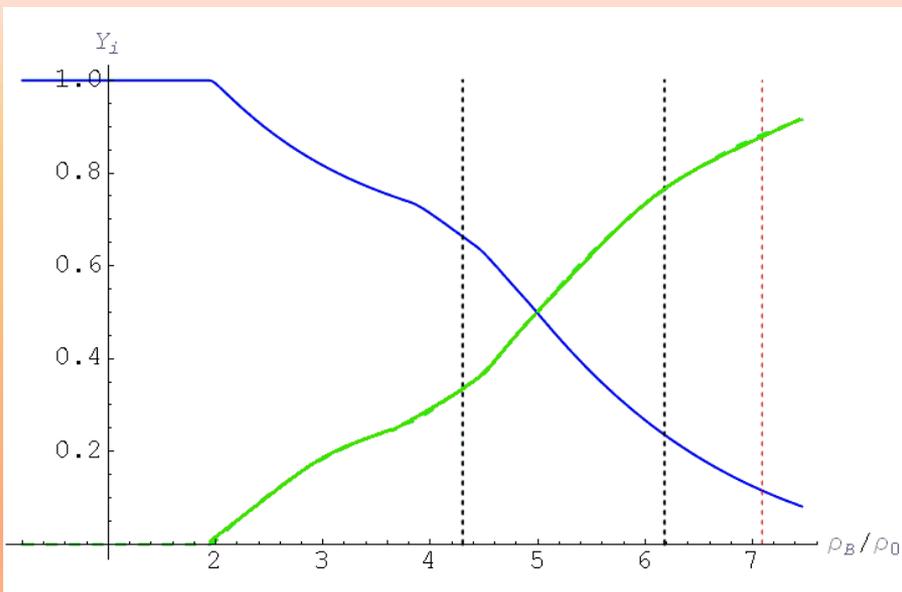


Durante la transizione di fase, il sistema si separa in 2 Fasi con differenti valori di B e C, mentre globalmente il loro valore è conservato.

(Le linee Rosse mostrano le correzioni ottenute con GIBBS)

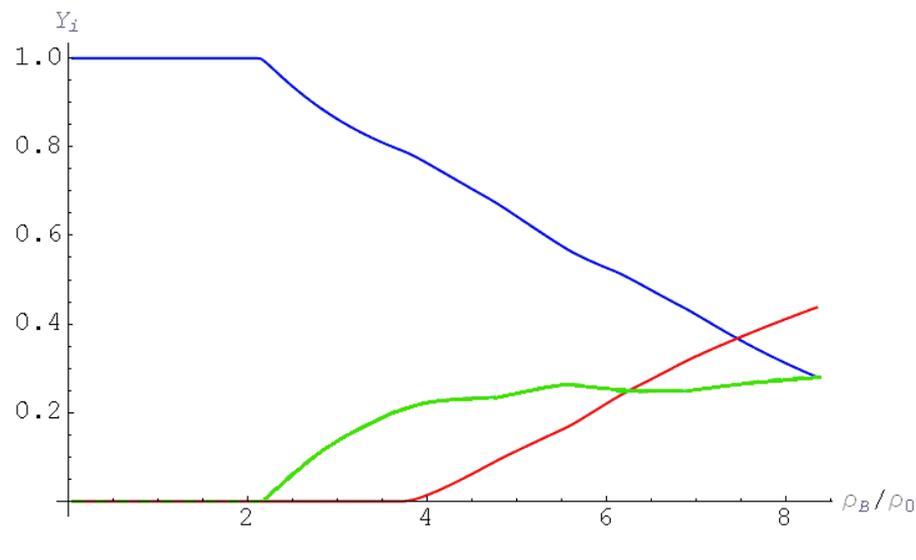
Composizione stellare

Frazione di **Nucleoni (Linea Blu)**, **Iperoni (linea rossa)** e **delta-particles (linea verde)** in funzione degli accoppiamenti tra Delta e campi mesonici.



($x_{\sigma\Delta}=0.95$ e $x_{\omega\Delta}=0.75$ (Regione INSTABILE))

In presenza di Transizione di Fase, la stranezza è fortemente soppressa, il n° di iperoni trascurabile e la stella composta quasi interamente da risonanze delta

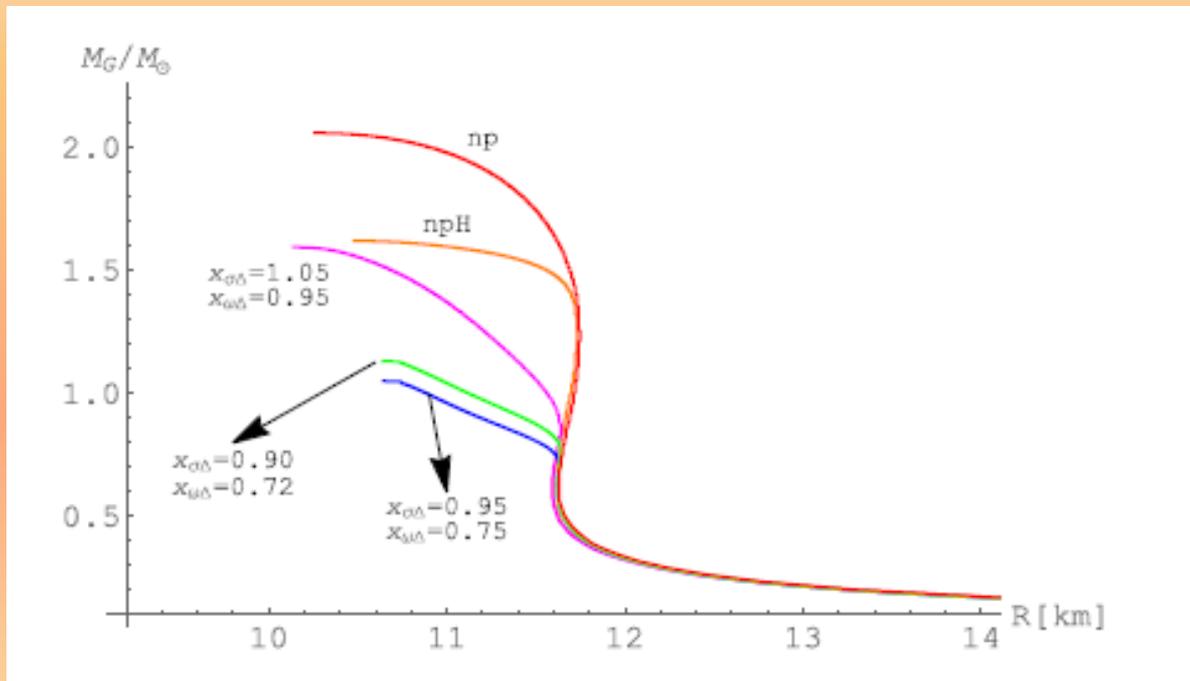


($x_{\sigma\Delta}=1.05$ e $x_{\omega\Delta}=0.95$ (Regione STABILE))

In assenza di Instab. Termodinamiche, la stella torna alla normale composizione, con una frazione di stranezza (iperoni) importante nelle regioni centrali.

Relazione Massa-Raggio.

L'effetto più rilevante, dovuto al possibile instaurarsi di una transizione di fase nell'oggetto Compatto (O.C.), si osserva nelle proprietà stellari e in particolare nella relazione Massa-Raggio.



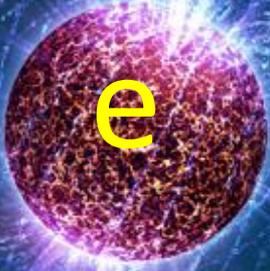
In presenza di transizione di fase (linee **verdi** e **blu**), si ha un forte softening nelle EOS stellari (a causa della forte soppressione dei nucleoni e alla quasi totale assenza di iperoni nella Fase Finale) e l'O.C. raggiunge una Massa gravitazionale inferiore a quella in assenza di instabilità termodinamiche. (**Linea Viola**)

Osservare oggetti compatti con $M_{\text{grav}} \approx 1M_{\odot}$ e Raggi ≈ 10 Km, potrebbe essere un marker importante per confermare la reale presenza di queste classe di stelle ricche di risonanze DELTA e dell'avvenuta transizione di fase.

Conclusioni

- La presenza di Isobare della Delta può influenzare notevolmente le proprietà della stella di neutroni.
- Per determinati accoppiamenti Δ -campi mesonici, possono instaurarsi regioni di instabilità termodinamica che conducono ad una transizione di fase nel sistema verso uno stato dominato dalle isobare della Delta. (*in modo analogo a quanto accade nella transizione di fase liquid-gas in materia nucleare*)
- In presenza di tali Instabilità, osserviamo:
 - una **transizione ad una fase dominata dalla delta** nella materia stellare,
 - una forte **riduzione nei nucleoni e nella stranezza**; iperoni trascurabili alla fine della transizione di fase,
 - una forte **riduzione nella Massa** gravitazionale del sistema
 - **variazioni nel processo di raffreddamento stellare ed emissione neutrinica** (URCA process).
- Futuri esperimenti in fisica delle alte energie ed osservazioni astrofisiche, ad es. con **NICER (Neutron star Interior Composition Explorer)**, saranno probabilmente in grado di confermare o meno l'esistenza di questa classe di oggetti compatti (*per ora solo ipotizzata*) e dunque anche dell'eventuale transizione di fase a Delta-matter.

Grazie per l'attenzione



e

Cieli Sereni!!!