

Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН

Условия появления Λ - и Ξ -гиперонов в материи нейтронных звезд

А.И. Насакин , Д. Е. Ланской, С. А. Михеев, Т. Ю. Третьякова

НИИЯФ МГУ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00077

2 апреля 2024 г.
г. Дубна, ОИЯИ

Нейтронные звезды

- Химическое равновесие

$$\begin{cases} \mu_p(Y_p, Y_\Lambda) + \mu_e(Y_e) = \mu_n(Y_p, Y_\Lambda) \\ \mu_\mu(Y_p, Y_e) = \mu_e(Y_e) \\ \mu_\Lambda(Y_p, Y_\Lambda) + m_\Lambda = \mu_n(Y_p, Y_\Lambda) + m_n \end{cases}$$

- Коэффициент приливной деформируемости

$$Q_{ij} = -\lambda \varepsilon_{ij}$$

$$\Lambda = \frac{\lambda}{M^5}$$

- GW170817

$$M_{chirp} = 1.186^{+0.001}_{-0.001} \quad M_{chirp} = \frac{(m_1 m_2)^{3/5}}{(m_1 + m_2)^{1/5}}$$

$$\bar{\Lambda} \leq 900 \quad \bar{\Lambda} = \frac{16(m_1 + 12m_2)m_1^4 \Lambda_1 + (m_2 + 12m_1)m_2^4 \Lambda_2}{13(m_1 + m_2)^5}$$

$$m_1 = 1.4 M_\odot \rightarrow \Lambda = 70 - 580$$

$$R = 10.5 - 13.3 \text{ км}$$

B. Abbott et al. (LIGO + Virgo), PRL (2017)

B. Abbott et al. (LIGO + Virgo), PRL (2018)

B. Abbott et al. (LIGO + Virgo), PRX (2019)

- Уравнение Толмана-Оппенгеймера-Волкова

$$\frac{dP}{dr} = \frac{G [\rho(r) + P(r)/c^2][m(r) + (4\pi r^3 P(r)/c^2)]}{r^2 [1 - (2Gm(r)/rc^2)]}$$

$$\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r)$$

- Наиболее массивные нейтронные звезды

PSR J0740+6620, $M = 2.08 \pm 0.07 M_\odot$

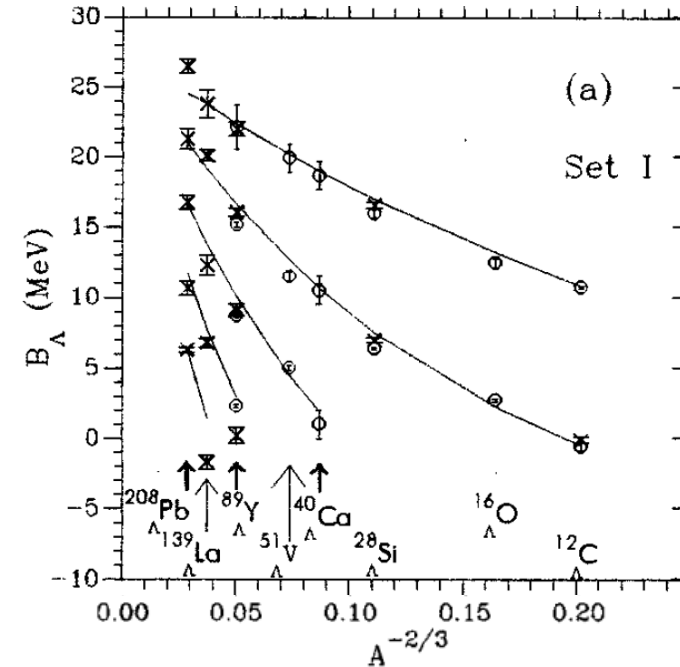
PSR J0952-0607, $M = 2.35 \pm 0.17 M_\odot$

HYPERON PUZZLE!

Взаимодействие Скирма

$$\begin{aligned}
 V_{YN}(\vec{r}_Y, \vec{r}_N) = & u_0(1 + \xi_0 P_\sigma) \delta(\vec{r}_Y - \vec{r}_N) \\
 & + \frac{1}{2} u_1 [\vec{P}'^2 \delta(\vec{r}_Y - \vec{r}_N) + \delta(\vec{r}_Y - \vec{r}_N) \vec{P}^2] \\
 & + u_2 \vec{P}'^2 \delta(\vec{r}_Y - \vec{r}_N) \vec{P} \\
 & + \frac{3}{8} u_3 (1 + \xi_3 P_\sigma) \delta(\vec{r}_Y - \vec{r}_N) \rho^Y \left(\frac{\vec{r}_Y + \vec{r}_N}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\Lambda\Lambda}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = & \lambda_0 \delta(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \\
 & + \frac{1}{2} \lambda_1 [\vec{P}'^2 \delta(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) + \delta(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \vec{P}^2]
 \end{aligned}$$



Lansky, Yamamoto, PRC 97

Список используемых параметризаций:

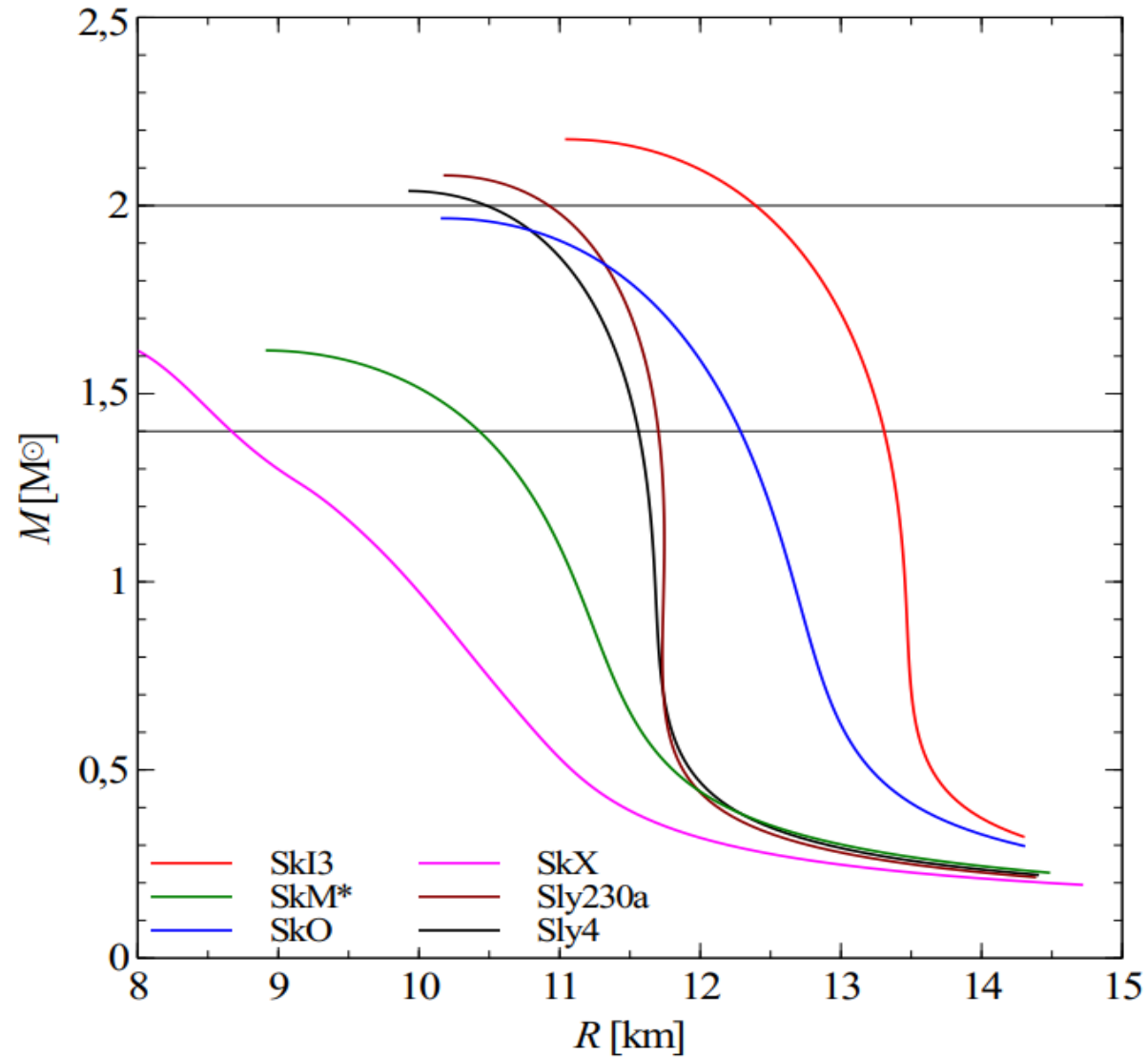
NN: KDE0v1, LNS, MSL0, NRAPR, SGI, SGII, SkI3, SkM*, SkO, SKRA, SkX, Skxs20, Sly4, Sly230a, T1, T2

ΛN : HPL2, LYI, SKSH1, SKSH2, SLL4', YBZ1, YBZ2, YBZ5, YBZ6, YMR

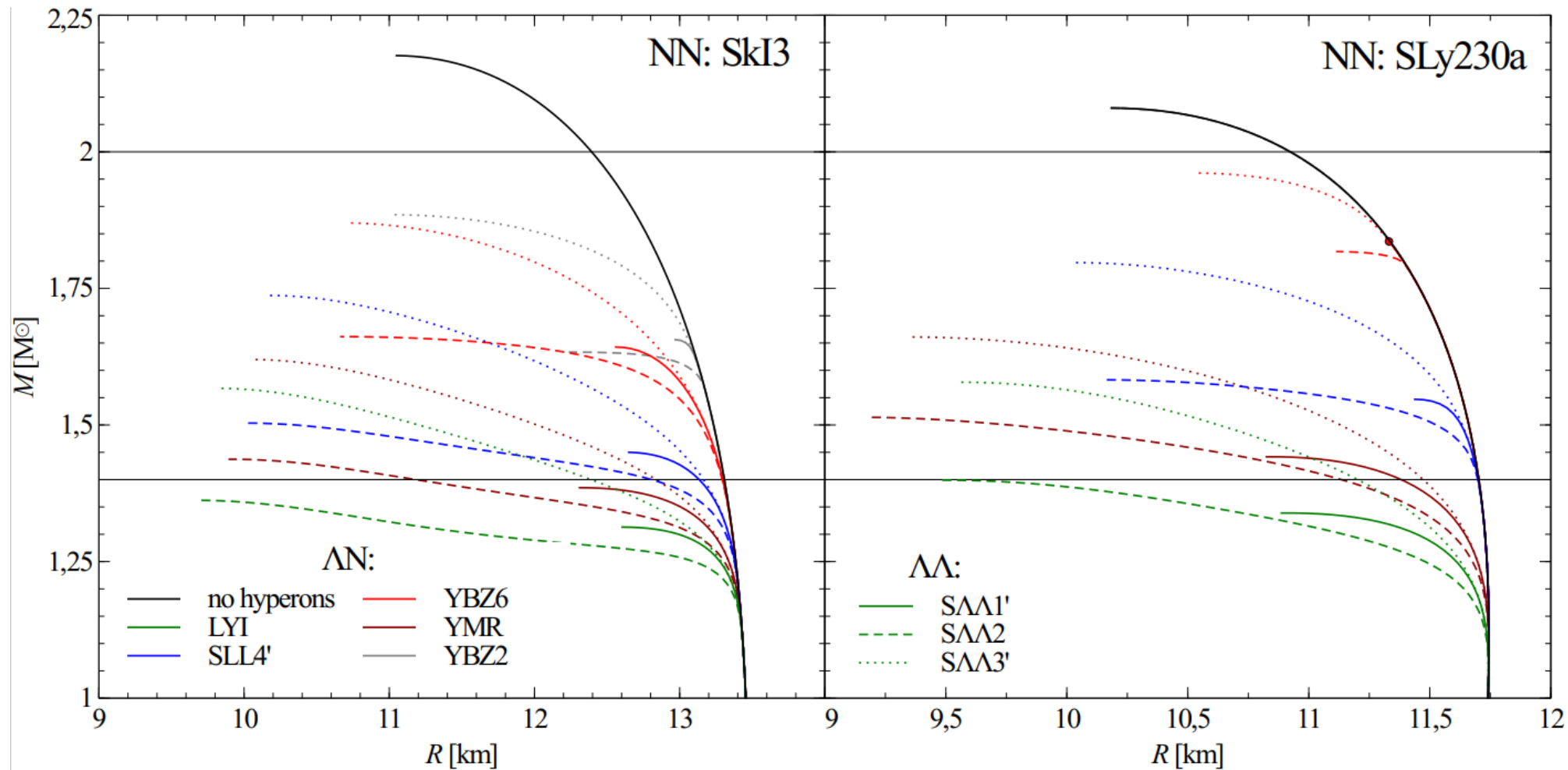
$\Lambda\Lambda$: S $\Lambda\Lambda$ 1', S $\Lambda\Lambda$ 2, S $\Lambda\Lambda$ 3'

ΞN : GuoD0, GuoD4, GuoU0, GuoU4, SL3p, SL3s

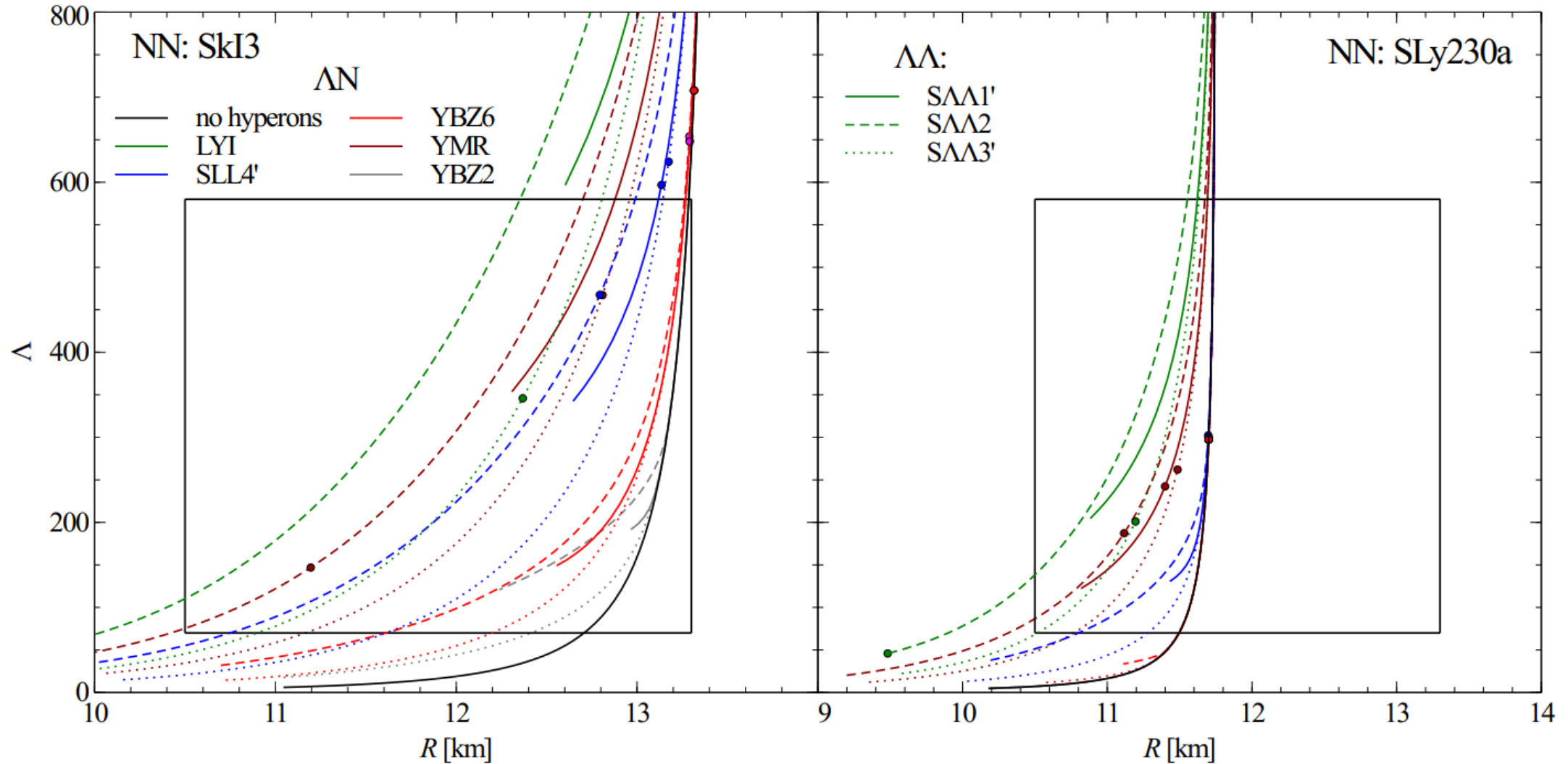
Зависимость $M(R)$ для нейтронных звезд в случае чисто нуклонной материи



Зависимость $M(R)$ для НЗ в случае материи с Λ - гиперонами



Коэффициент приливной деформируемости Λ_3 в случае материи с Λ - гиперонами



Точка появления гиперонов в материи НЗ

Обозначим энергию связи гиперона в чисто нуклонной материи:

$$D_Y \equiv -\mu_Y$$

Критическая энергия гиперона:

$$D_{\Lambda}^{cr} = m_{\Lambda} - m_n - \mu_n$$
$$D_{\Xi^-}^{cr} = m_{\Xi^-} + m_p + \mu_p - 2m_n - 2\mu_n$$

Условие появления Λ -гиперонов:

$$m_{\Lambda} + \mu_{\Lambda} = m_n + \mu_n$$

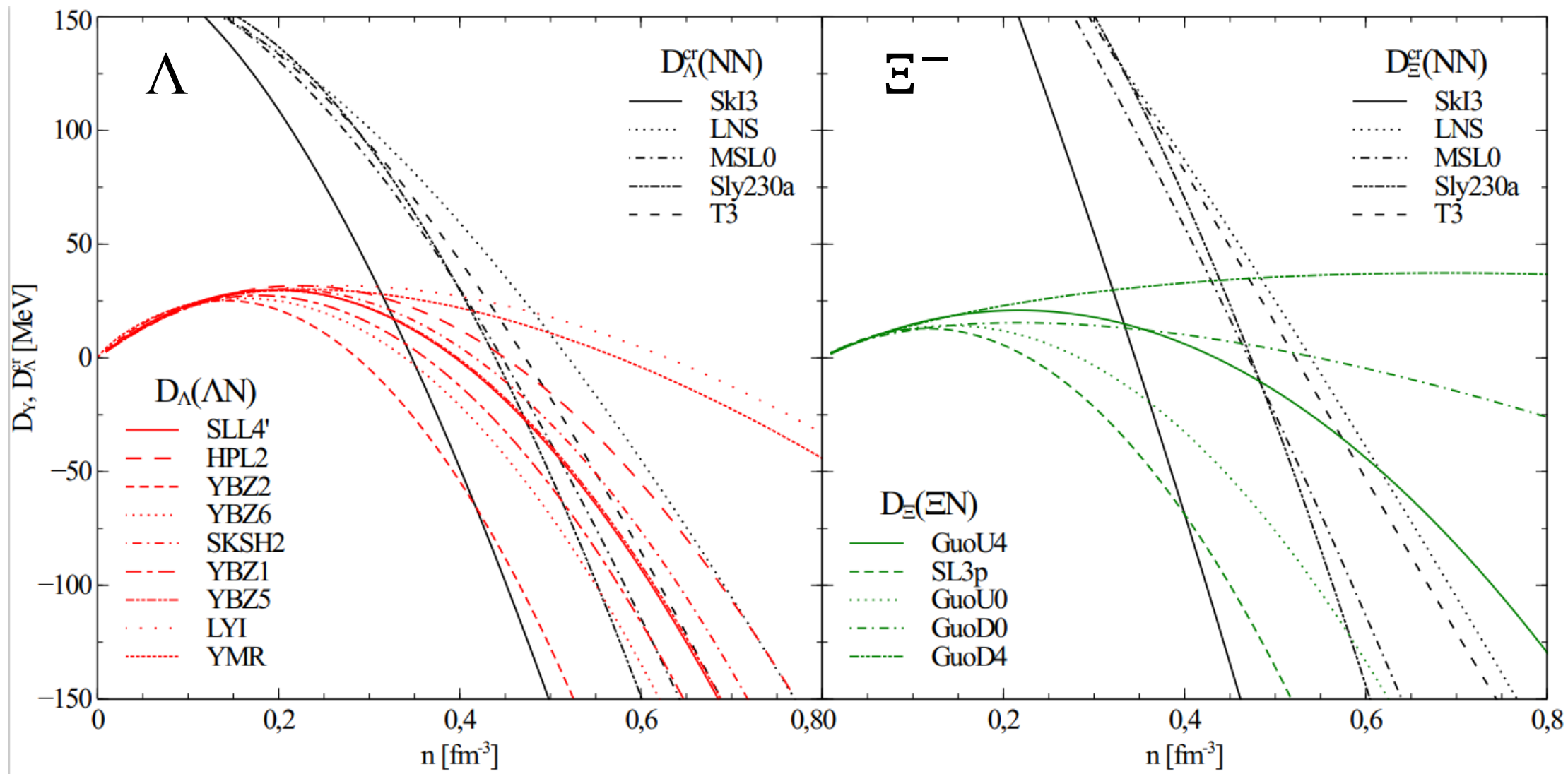
Условие появления Ξ^- -гиперонов:

$$m_{\Xi^-} + \mu_{\Xi^-} + m_p + \mu_p = 2\mu_n + 2m_n$$

Таким образом условие появления гиперонов:

$$D_Y = D_Y^{cr}$$

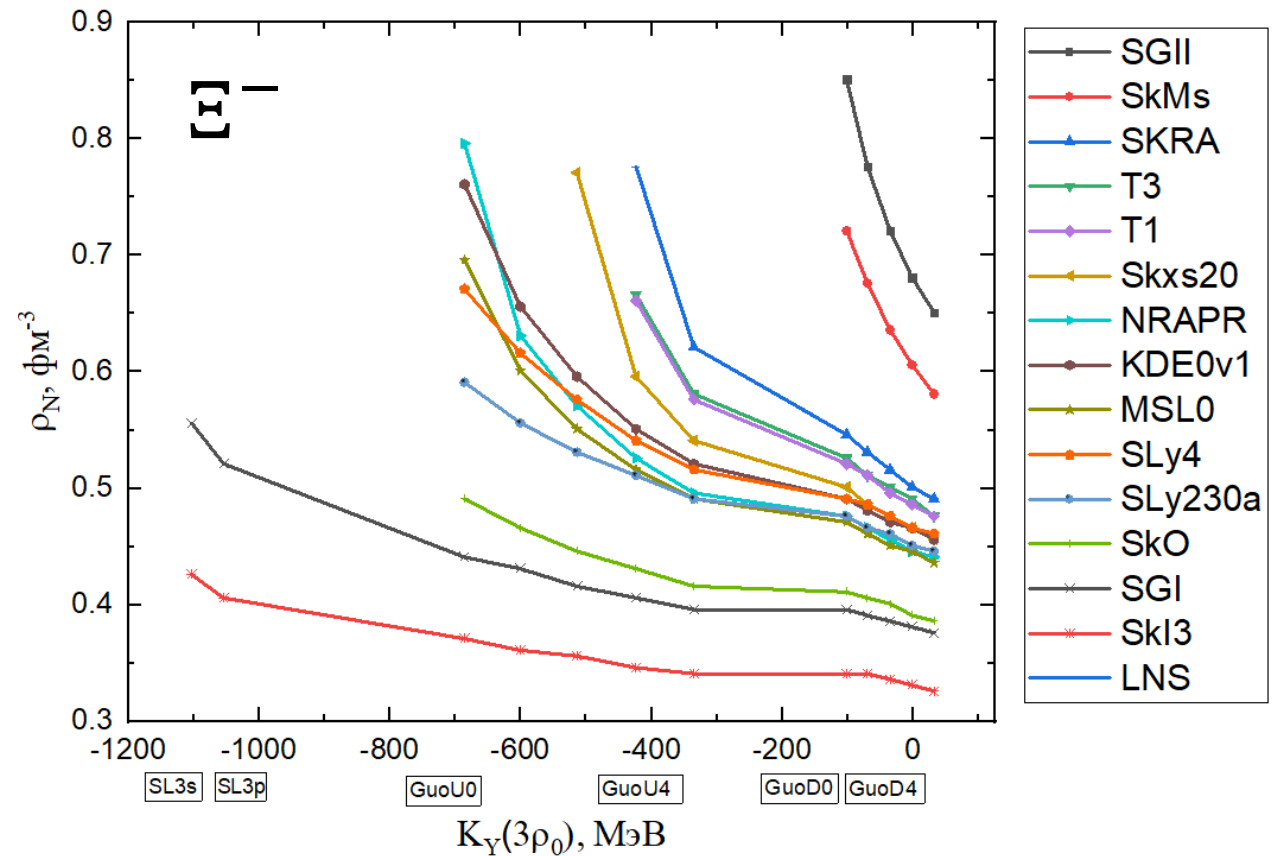
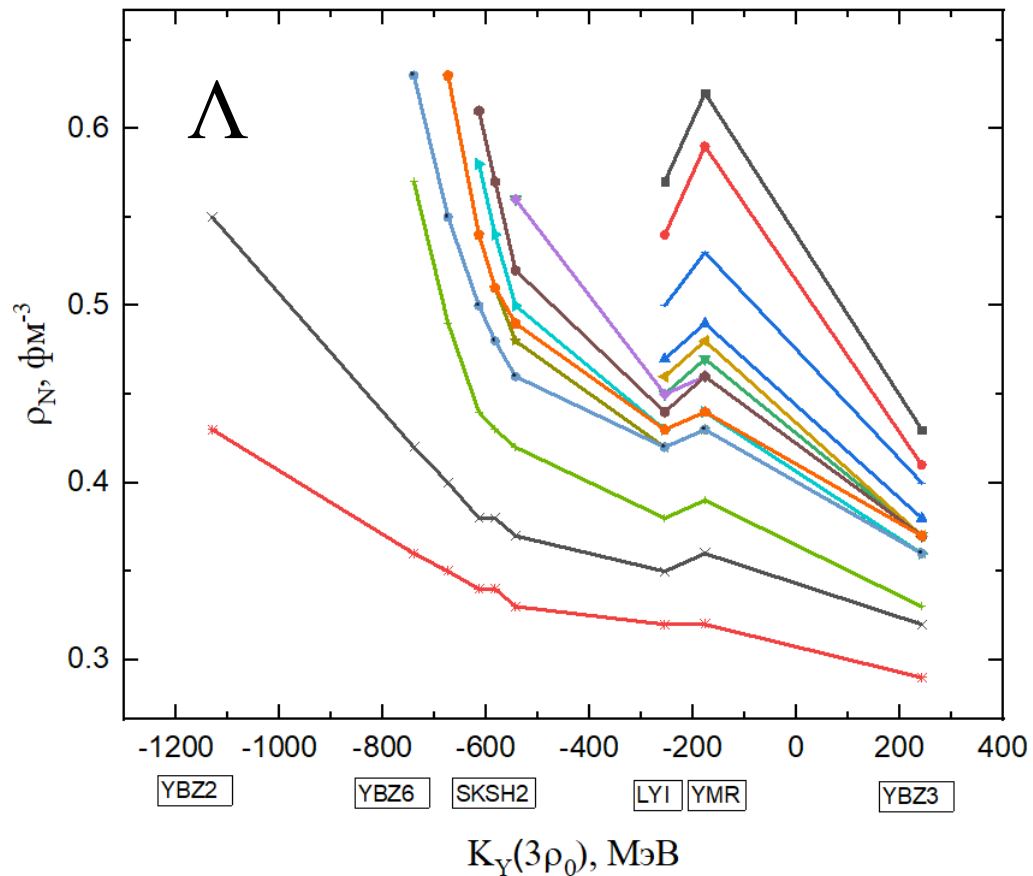
Точка появления гиперонов



Сжимающая способность гиперон-нуклонного взаимодействия

$$K_Y(\rho_N) = 3\rho_N \frac{dD_Y}{d\rho_N}$$

Ланской, Третьякова // Ядерная физика 1989. Т. 49, с. 401



Заключение

- В работе проведены расчёты масс, радиусов и коэффициентов приливной деформируемости для НЗ.
- Показано важное значение величины плотности барионной материи при которой появляются гипероны, и ее влияние на вышеупомянутые характеристики.
- Проведен анализ зависимости плотности в точке появления гиперонов от параметризаций взаимодействий. Найдены комбинации, при которых Λ -гипероны не появляются, а появляются Ξ^- -гипероны. Также найдены наборы параметризаций, при которых гипероны не появляются вовсе.
- Найдена сильная корреляция между точкой появления гиперонов и сжимающей способностью гиперон-нуклонного взаимодействия при высоких плотностях.

Спасибо за внимание