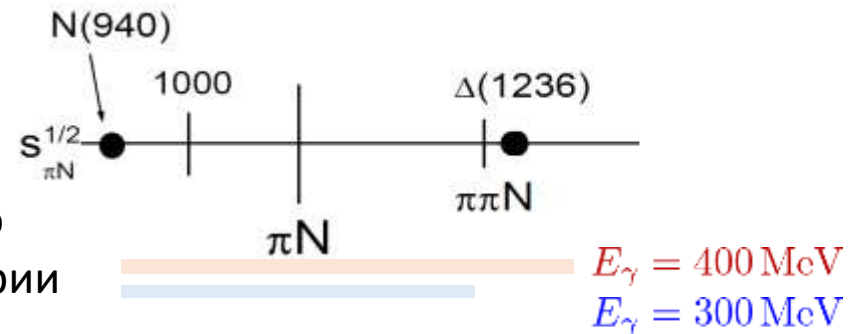
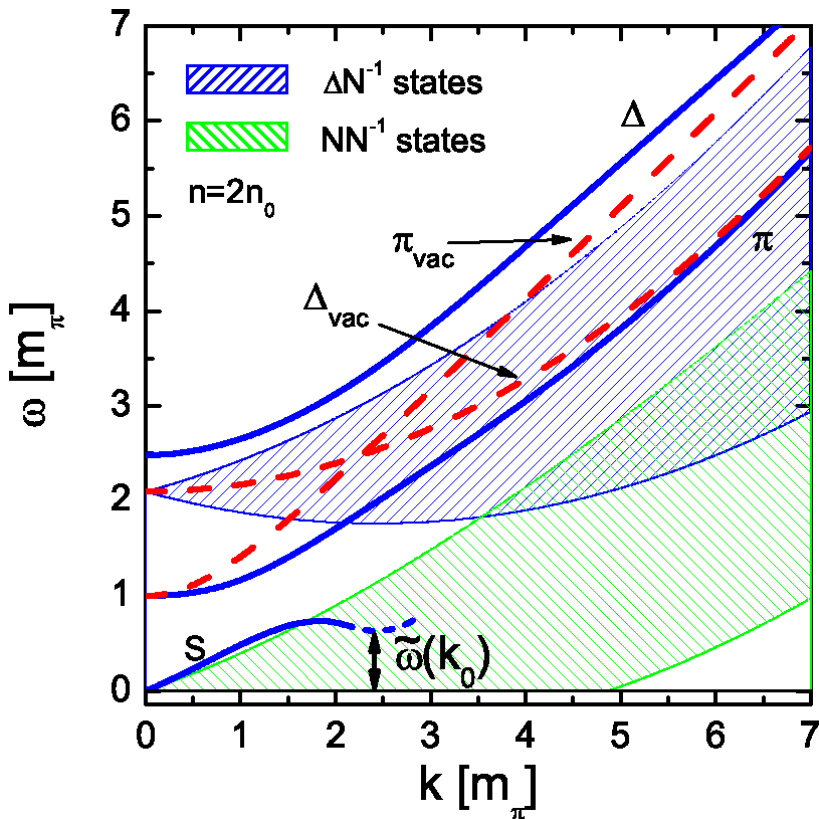


# Перспективы исследования мезонных степеней свободы в фотоядерных реакциях в области порогов одно и двухпионного рождения

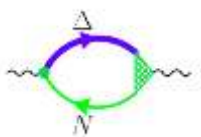
Евгений Коломейцев *БЛТФ, ОИЯИ, Дубна; НЦФМ Саров*



Пион -- легкий «гольдстоуновский» псевдоскалярный мезон с сильной связью со всеми  $N$  и  $\Delta$  состояниями, результат спонтанного нарушения киральной симметрии



p-волновое взаимодействие



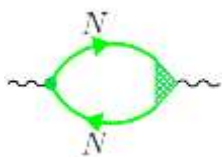
$$\omega \sim m_{\Delta(1232)} - m_N = 290 \text{ MeV} \approx 2.1 m_{\pi}$$

s-волновое взаимодействие



$$\omega \sim m_{\pi} + \frac{\Pi_S}{2m_{\pi}}$$

p-волновое взаимодействие



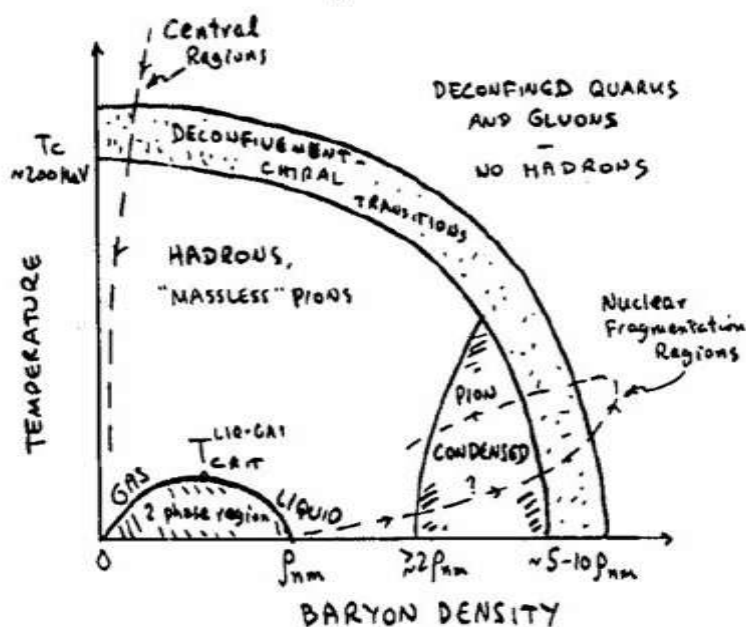
$$\omega \sim v_s k$$

спин-изоспиновый звук, затухание Ландау

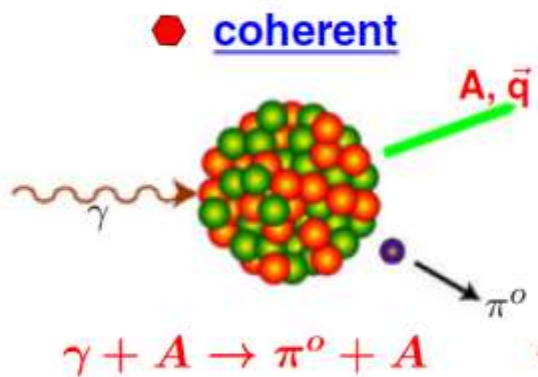
**Пионный конденсат** [А.Б. Мигдал 1973]

Один из основных аргументов для начала исследований столкновений тяжелых ионов

PHASE DIAGRAM OF NUCLEAR MATTER



● реакции на ядрах

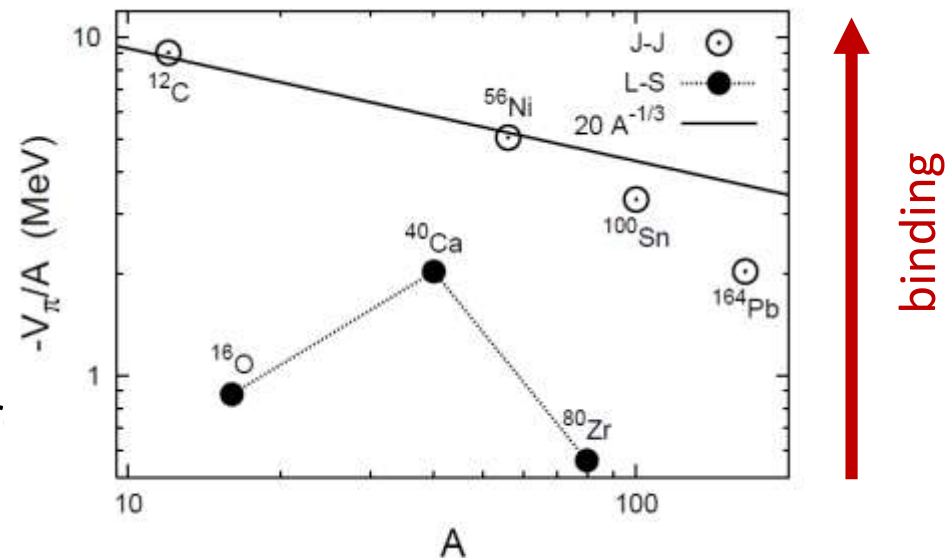


spin/iso-spin filters,  
meson – nucleus bound states,  
in-medium properties,  
nuclear form factors

два пиона  $\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-$   
use one as a tag

✓ Surface pion fields (condensates) in RMF models

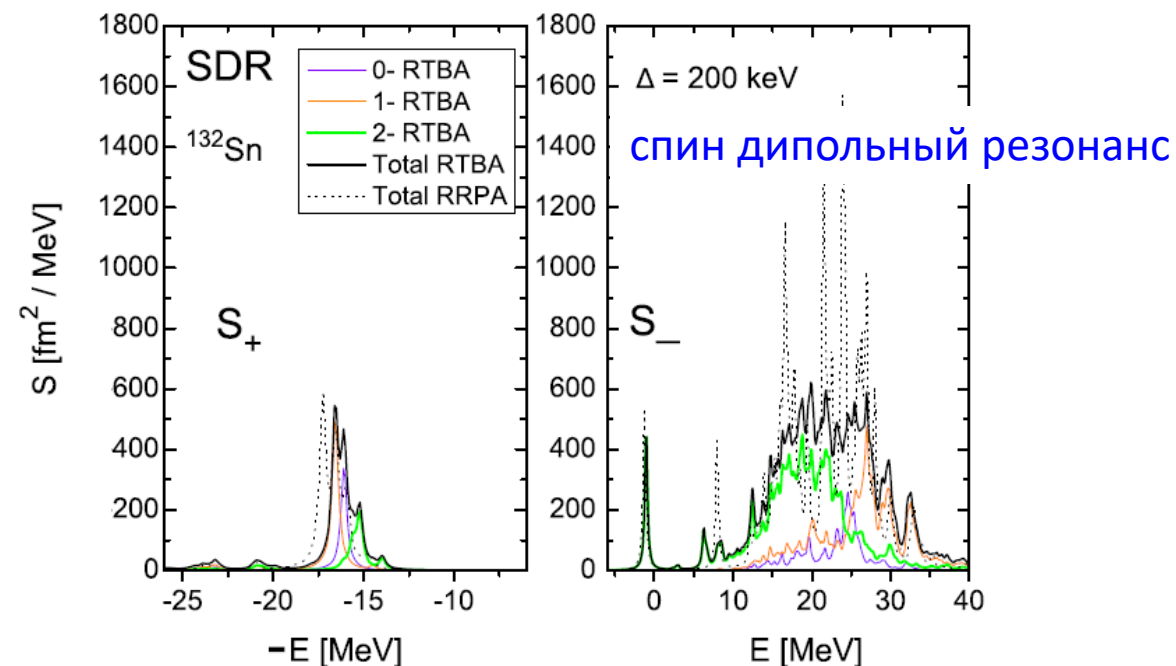
[Toki, Sugimoto, Ikeda, PTP108 (2002) 903]



✓ Pion–nucleon correlations in finite nuclei. *Effects on the shell structure*

[Litvinova Phys. Lett. B 755 (2016) 138]

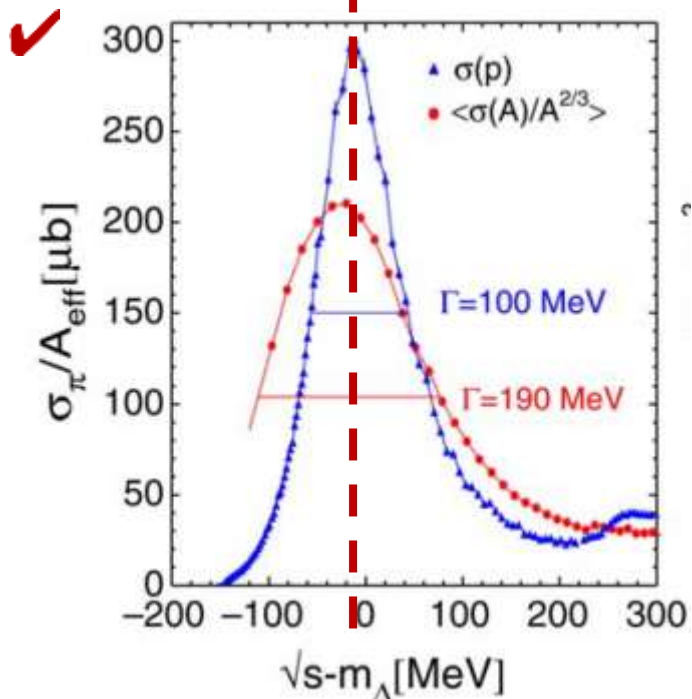
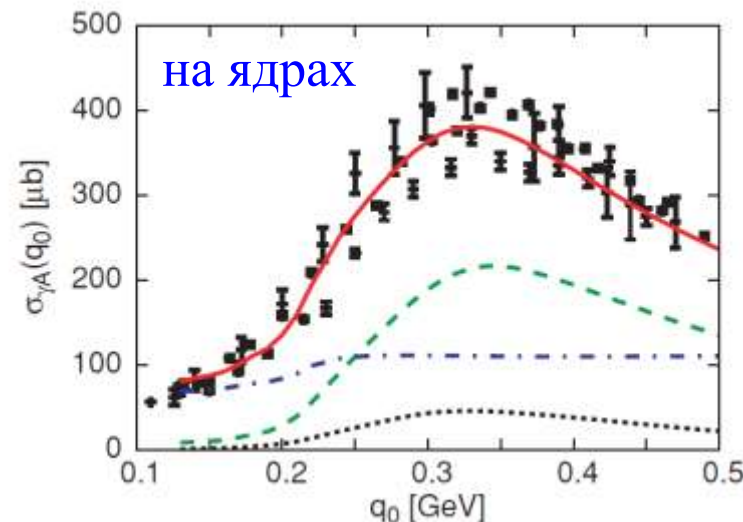
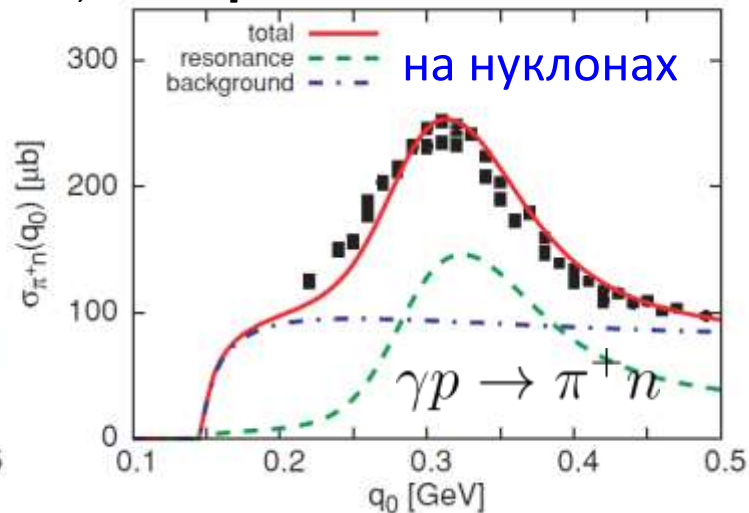
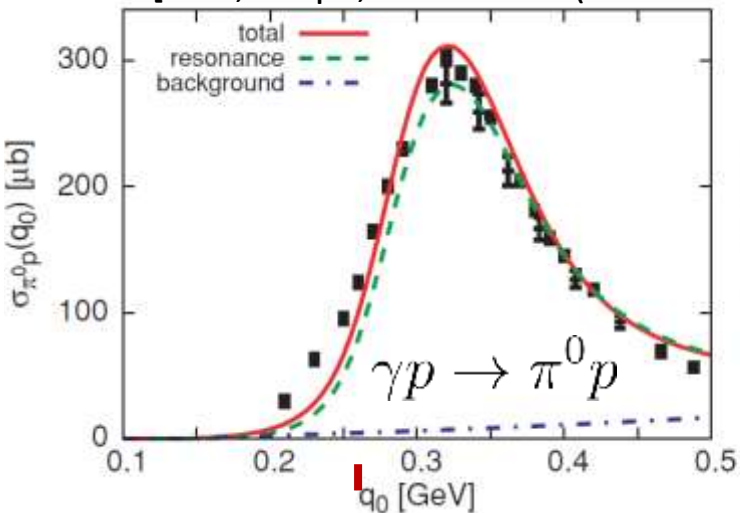
The dynamical contribution of the pion is included into the single-particle self-energy of a finite nuclear system in a self-consistent relativistic particle-vibration coupling (RPVC) model. It has been shown that **in medium-mass nuclei low-lying isospin-flip states associated with soft pionic modes can occur with sizable transition probabilities** and, therefore, their coupling to single-particle and other collective modes should be considered. The strength of this coupling and its effect on the single-particle states is evaluated for  $^{100,132}\text{Sn}$  and the shell structure of these nuclei is found to be **sensitive to pion dynamics**.



●  $\Delta$  изобары в ядрах

[Lutz, Korpa, Riek PRC80(2009 024901, 024902)]

✓ средовые поправки на вершины и пропагаторы



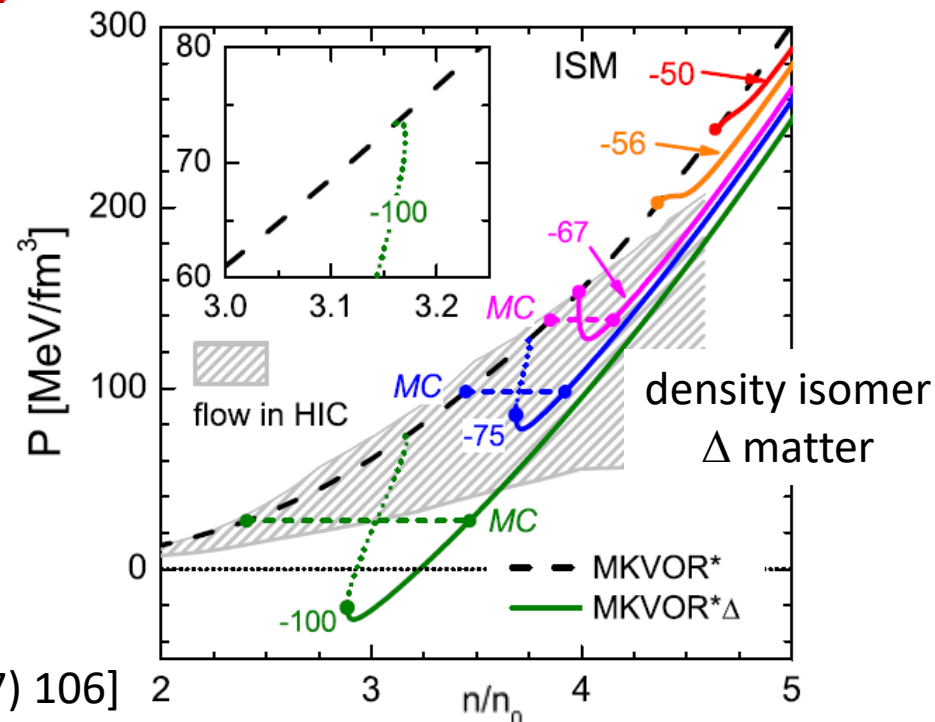
много неопределенных параметров

- 1) константы Ландау-Мигдала (для нуклонов и  $\Delta$ )
- 2) среднее поле для  $\Delta$

оптический потенциал  $U_\Delta$

нейтронные каналы?

✓ Уравнение состояния ядерного вещества



[Kolomeitsev et al., NPA 961 (2017) 106]

● S-волновое взаимодействие

Киральная симметрия КХД

$$T_{\pi N, s}^{(1/2)}(\sqrt{s} = m_N + \omega) = \frac{\omega}{f^2} + \frac{\sigma_{\pi N}}{f^2} - \frac{\beta \omega^2}{f^2 m_\pi^2} + \dots$$

$$T_{\pi N, s}^{(3/2)}(\sqrt{s} = m_N + \omega) = -\frac{\omega}{2f^2} + \frac{\sigma_{\pi N}}{f^2} - \frac{\beta \omega^2}{f^2 m_\pi^2} + \dots$$

$$\Pi_{1, S}^{(\pm)}(\omega) = \mp \frac{\omega}{2f^2} (n_n - n_p) - \frac{\sigma_{\pi N}}{f^2} (n_p + n_n) + \frac{\beta \omega^2}{m_\pi^2 f^2} (n_p + n_n)$$

киральные низкоэнергетические теоремы (Weinberg-Tomazawa term +  $\Sigma$ -term)

$\beta \approx \sigma_{\pi N}$

✓ предотвращает пионизацию нейтронных звёзд

✓  $\Sigma$ -член нужен для описаний глубоко связанных пионных атомов [Kolomeitsev, Kaiser, Weise, PRL 90 (2003) 092501]

но в изоспин-симметричной среде!

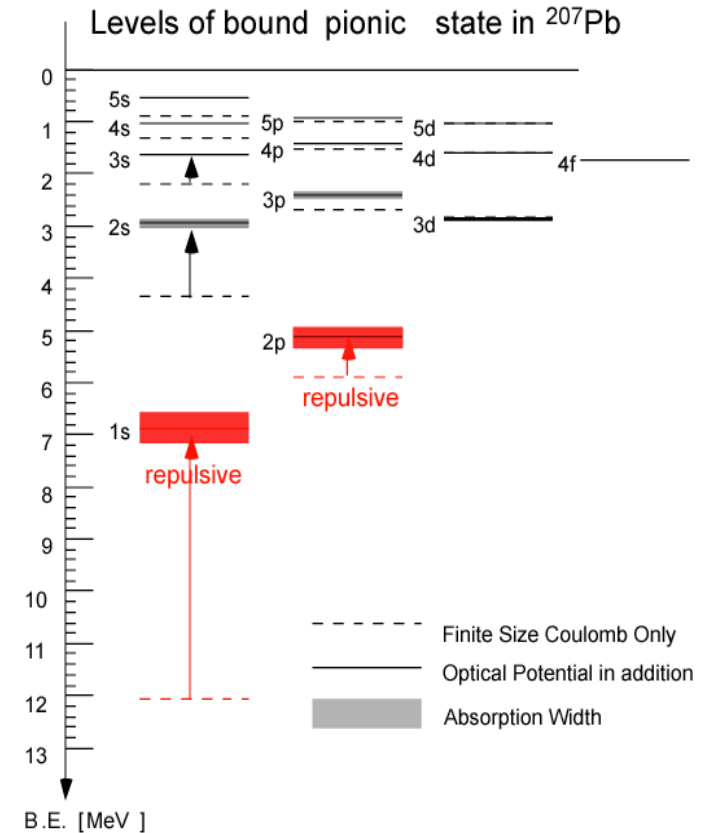
$$m_\pi^{*2} = m_\pi^2 + \Pi_{1, S}^{(-)}(0) = m_\pi^2 - \frac{\sigma_{\pi N}}{f^2} (n_p + n_n) = m_\pi \left( 1 - \frac{n}{n_{c, \sigma}} \right)$$

$$n_{c, \sigma} = \frac{f^2 m_\pi^2}{\sigma_{\pi N}} = 2.6 n_0 \frac{50 \text{ MeV}}{\sigma_{\pi N}}$$

$m_\pi^* \rightarrow 0$

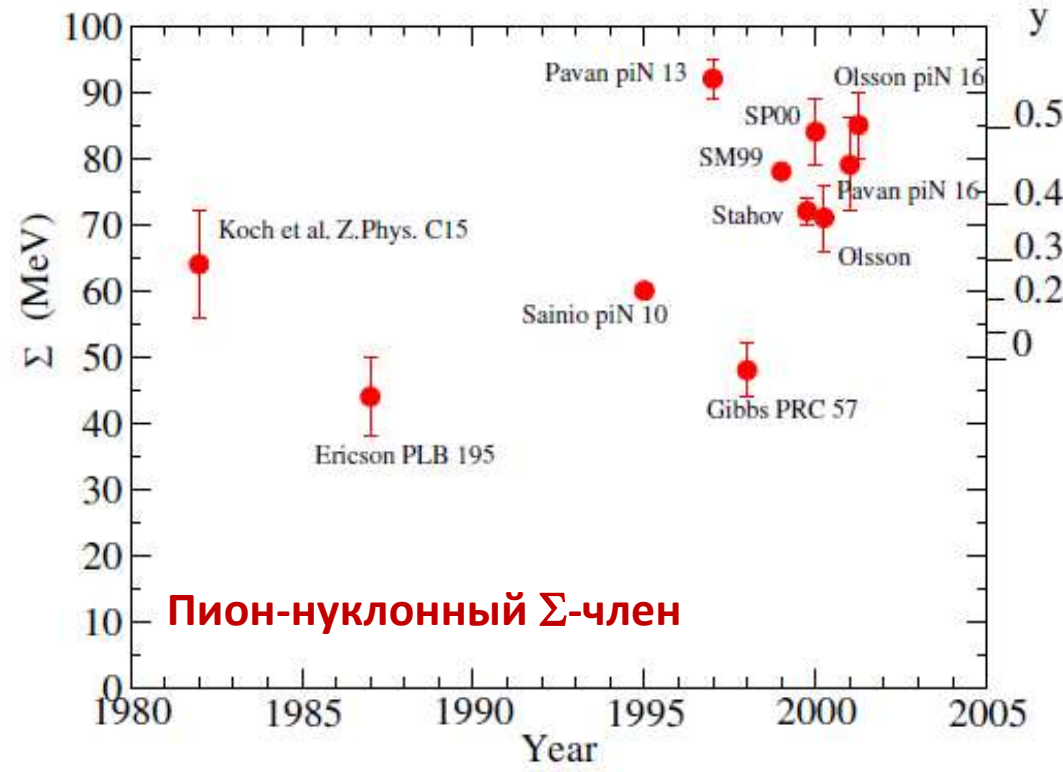
Неустойчивость!!

нужна информация о короткодействующих нуклон-нуклонных корреляциях в s-волне

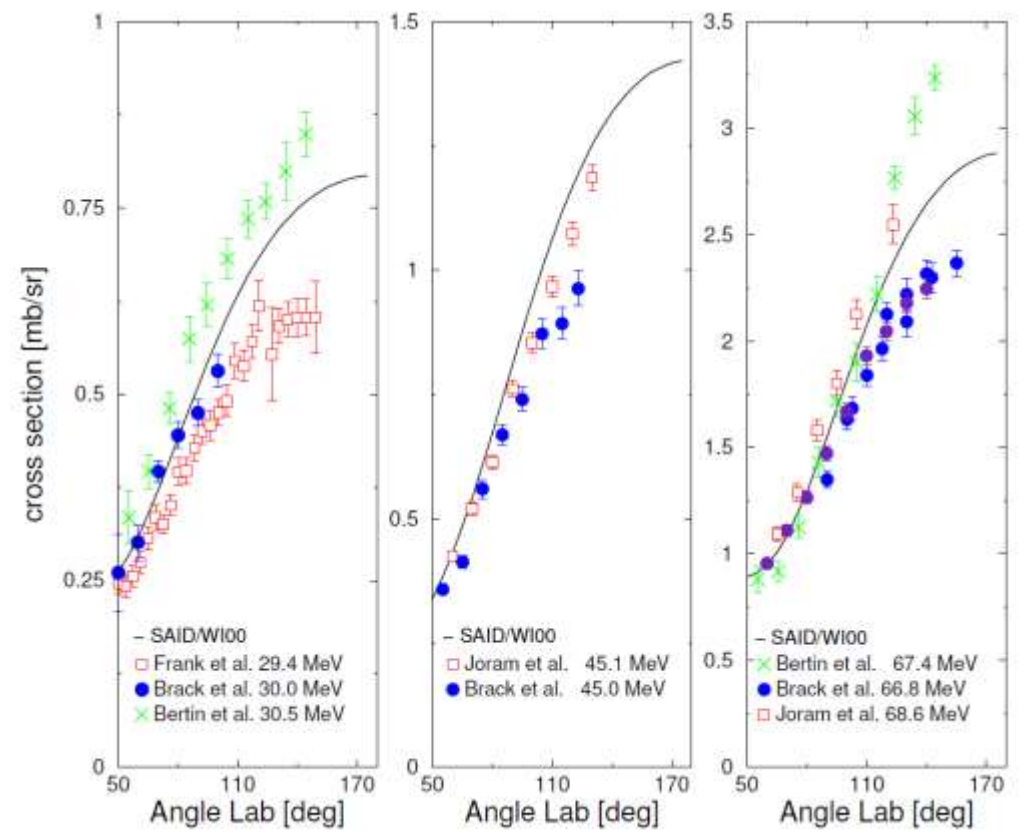


● низкоэнергетическое пион-нуклонное взаимодействие

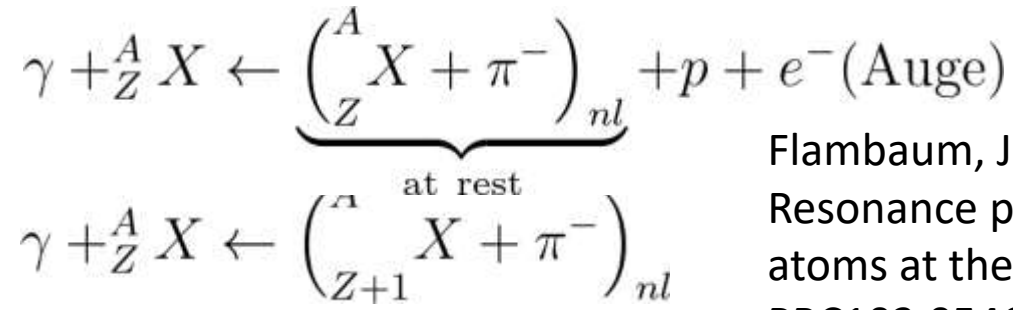
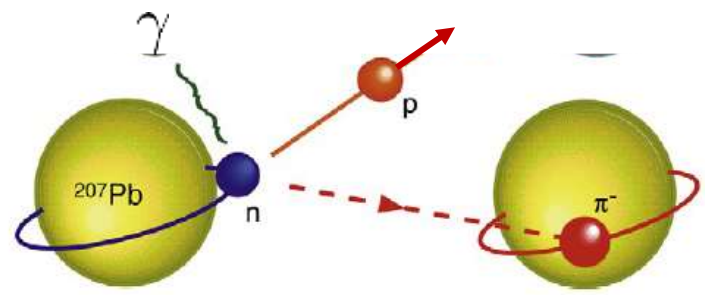
$n_c = 1.4 n_0$   
 $n_c = 1.6 n_0$   
 $n_c = 2.6 n_0$



$\pi^+ p \rightarrow \pi^+ p$



● глубоко связанные пионные атомы



Flambaum, Jin, Budker,  
 Resonance photoproduction of pionic  
 atoms at the proposed Gamma Factory,  
 PRC103,054603 (2021)

● **Формирование физического сообщества**

Пример: [физика нейтронных звезд](#)

ESF CompStar 2008-2013

COST NewCompStar: 2013-2017 Pharos 2017-2022

14 лет непрерывного финансирования

Пример: гранты [FAIR-Russia](#)

Community service centers

places for workshops, schools, meetings, sabbatical stays

Niels Bohr Institute (Copenhagen)

NORDITA (Copenhagen -> Stockholm) NBIA(Niels Bohr International Academy) Copenhagen

INT=Institute of Nuclear Theory (Seattle)

ECT\*=European Centre for Theoretical Studies in Nuclear Physics and Related Areas (Trento, Italy)

EMMI=Extreme Matter Institute (GSI, Darmstadt)

| ACTIVITY/YEAR             | 1 |   |   | 2 |   |   | 3 |   |   | 4 |   |   |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| WG1                       | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| WG2                       | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| WG3                       | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <b>OTHER ACTIVITIES</b>   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| kick-off meeting          | x |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| MC appoints SC            | x |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Establish WGs             | x |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Establish Workplan        | x |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Setup of Website          | x |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Release of <i>Compose</i> |   |   |   | x |   |   |   |   |   |   |   |   |
| MC, SC meetings           |   | x |   | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| WG/SA meetings            |   | x |   | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Training School           |   | x |   | x |   |   | x |   |   | x |   |   |
| Workshop                  |   | x |   | x |   |   | x |   |   | x |   |   |
| Final Conference          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | x |
| Gender activities         | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Outreach activities       |   | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |