

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Научно-исследовательский институт ядерной физики
имени Д.В. Скобельцына
Физический факультет



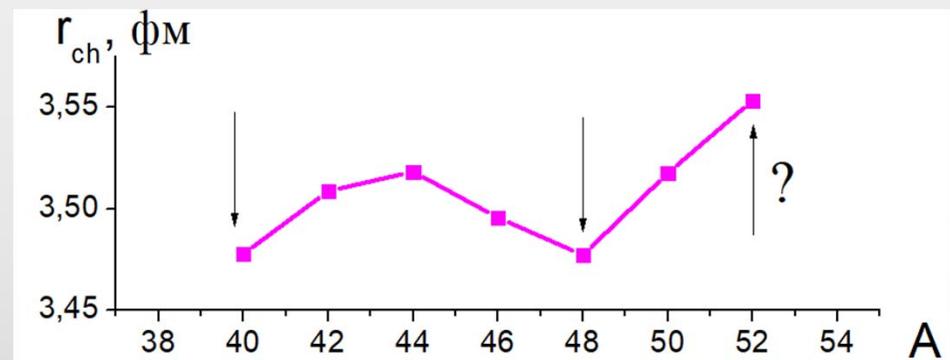
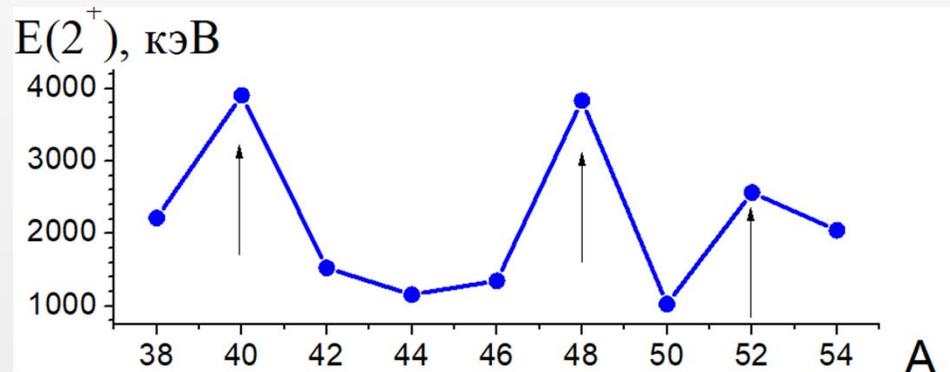
Магичность ядер $^{52,54}\text{Ca}$ и радиусы их нейтронных орбит

О.В. Беспалова, А.А. Климочкина

Конференция НИИЯФ МГУ по итогам 2024 г.

^{52}Ca и ^{54}Ca – новые дважды магические изотопы Ca

Изотопы Ca



«Неожиданно» большие зарядовые радиусы r_{ch} нейтронно-избыточных изотопов Ca. R. F. Garcia Ruiz et al. Nat. Phys. 12, 594 (2016).

Радиусы нейтронных орбит $1f_{7/2}$ и $2p_{3/2}$ в ^{52}Ca

- ▶ J. Bonnard, S. M. Lenzi, A. P. Zuker, Phys. Rev. Lett. 116, 212501 (2016).

Гало-подобные особенности структуры нейтронных орбит $2p_{3/2}$ и $2p_{1/2}$ в изотопах Ca с $N > 28$



Расширение распределения протонов, как-бы следующих за нейтронами.

- ▶ M. Enciu, H. N. Liu, A. Obertelli et al. Phys. Rev. Lett. 129, 262501 (2022).

$$r_{rms}(1f_{7/2}) - r_{rms}(2p_{3/2}) = 0.61(23) \text{ Фм}$$

Эксперимент: 4.13(14) Фм 4.74(18) Фм

Теория: 4.12 Фм 4.49 Фм Метод ХФБ со взаимодействием Скирма SKM

Дисперсионная оптическая модель

Mahaux C., Sartor R. "Single-Particle Motion in Nuclei". Advances in Nuclear Physics. 1991. V.20. P.1-224

$$V(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; E) = V(\mathbf{r}, \mathbf{r}') + \frac{P}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{W(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; E')}{E' - E} dE'$$

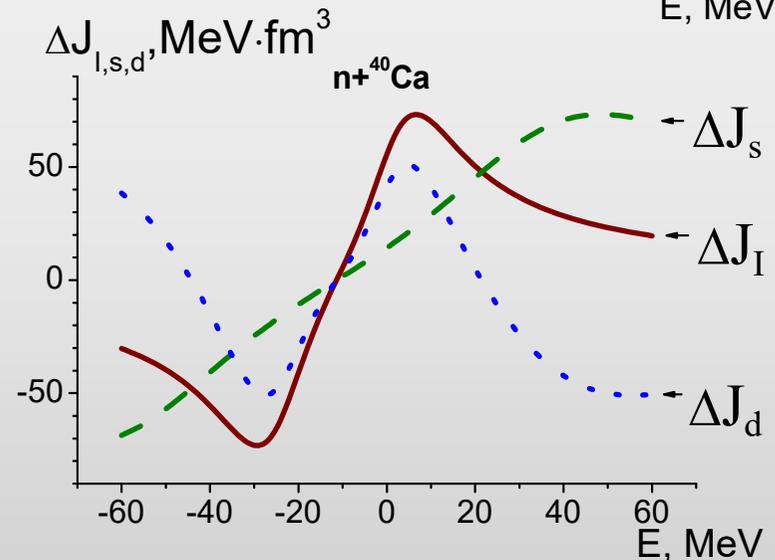
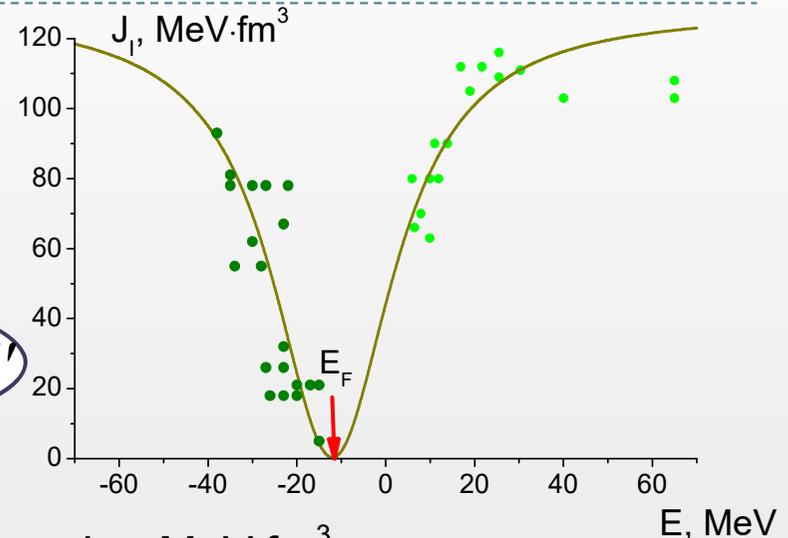
ΔV

$$U(r, E) = -U_p(r, E) - U_{so}(r, E) + V_C(r),$$

$$U_p(r, E) = V_{HF}(E) f(r, r_{HF}, a_{HF}) +$$

$$+ \Delta V_s(E) f(r, r_s, a_s) - 4a_d \Delta V_d(E) \frac{d}{dr} f(r, r_d, a_d) +$$

$$+ iW_s f(r, r_s, a_s) - i4a_d W_d \frac{d}{dr} f(r, r_d, a_d)$$



Дисперсионный оптический потенциал

Глобальные параметры КД (Koning A.J., Delaroche J.P. Nucl. Phys. A. 2003. V. 713. P. 231)

Мнимый потенциал

$$W_s(E) = w_1 \frac{(E - E_F)^2}{(E - E_F)^2 + w_2^2} \quad W_d(E) = d_1 \frac{(E - E_F)^2 \exp[-d_2(E - E_F)]}{(E - E_F)^2 + (d_3)^2}, \quad E > E_F$$

Спин-орбитальный потенциал

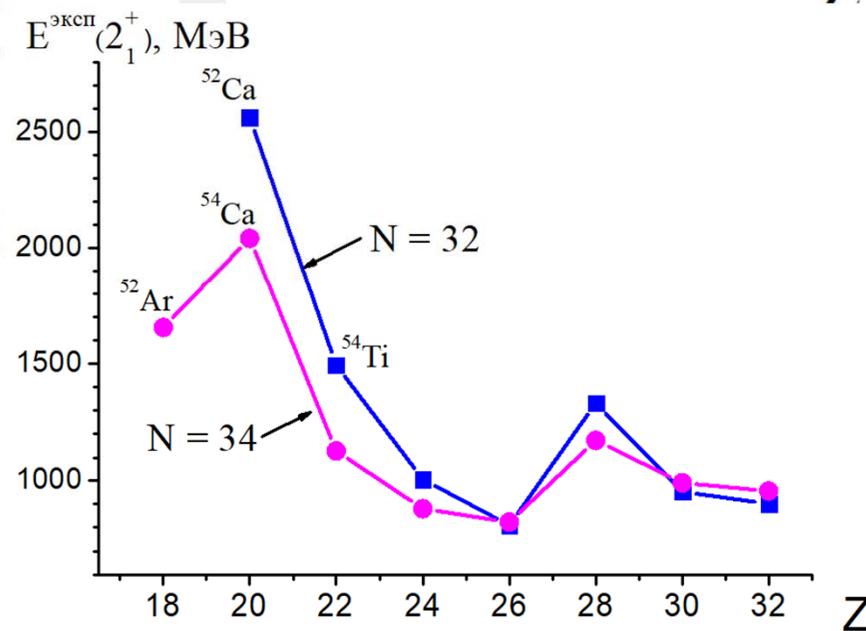
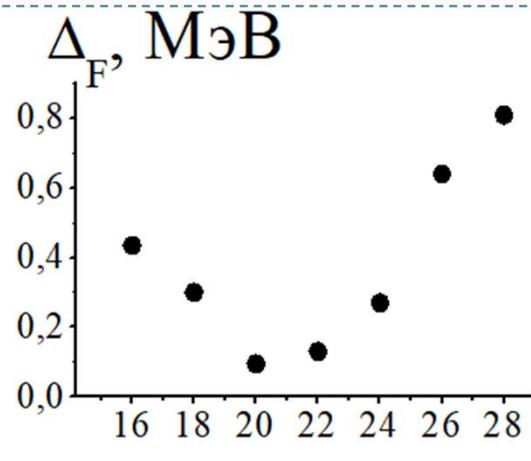
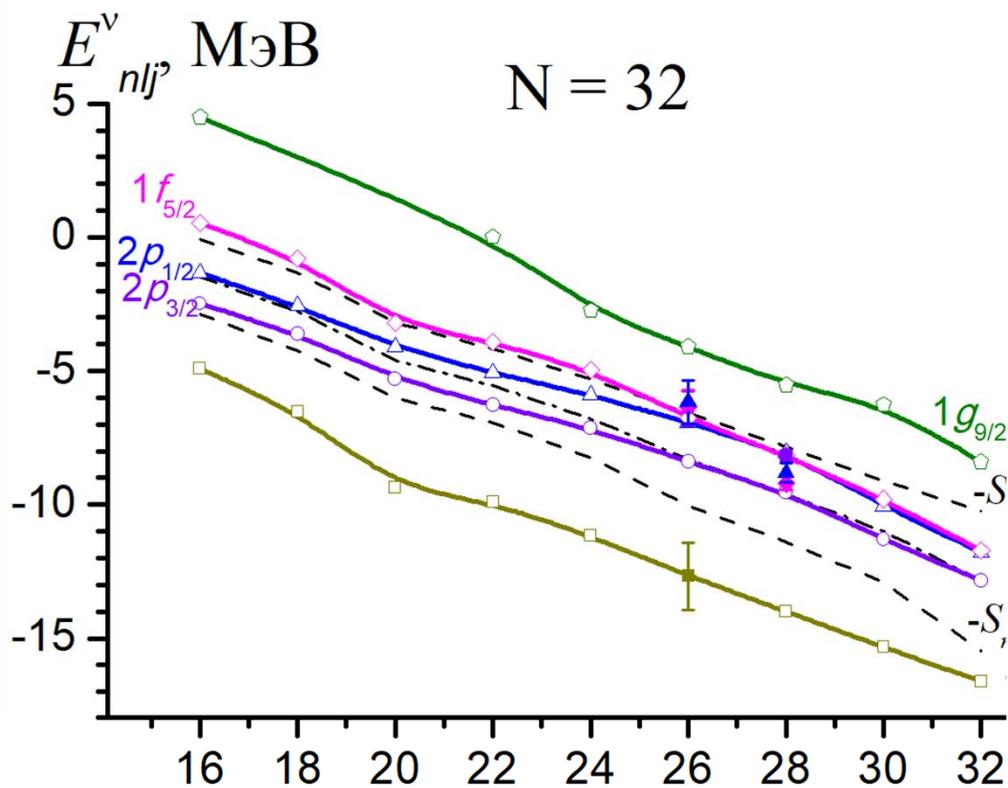
$$V_{SO}(E) = v_{so1} \exp[-v_{so2}(E - E_f)].$$

Хартри-Фоковский потенциал

$$r_{HF} = r_V, \quad a_{HF} = a_V$$

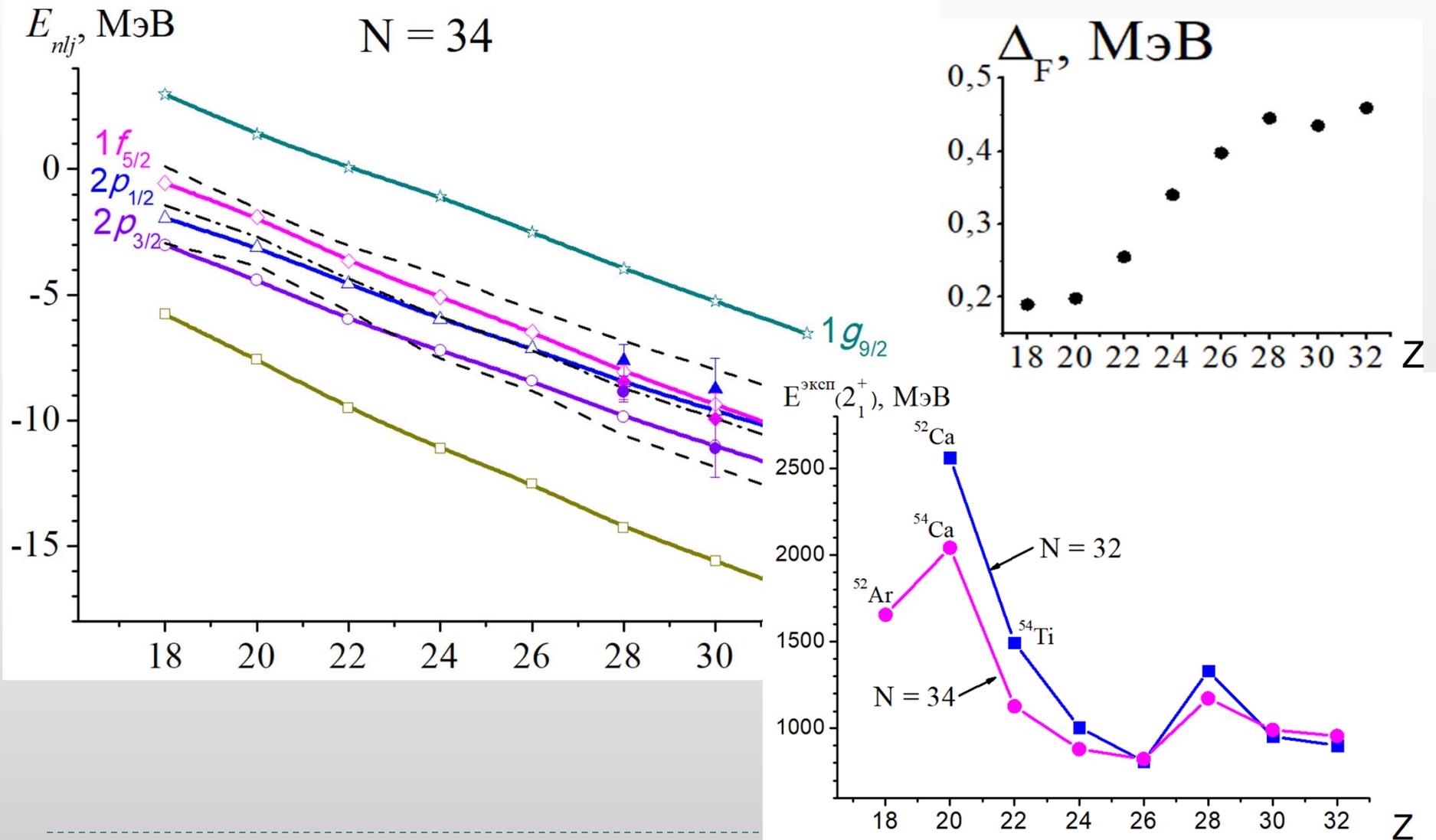
Описание энергии Ферми E_F по данным АМЕ \rightarrow силовой параметр $V_{HF}(E_F)$

Нейтронные одночастичные энергии для изотонов с N= 32



$$E_F = \langle -S_n(Z, N), -S_n(Z, N + 1) \rangle$$

Одночастичные энергии изотонов с N= 34



Расчет нейтронных $r_{rms}^{52\text{Ca}}$ по дисперсионной оптической модели

$$r_{rms}(1f_{7/2}) = 4.13(14) \text{ Фм} \quad r_{rms}(2p_{3/2}) = 4.74(18) \text{ Фм} \quad r_{rms}(1f_{7/2}) - r_{rms}(2p_{3/2}) = 0.61(23) \text{ Фм}$$

1. Набор параметров КД для ^{52}Ca :

$$r_{rms}(1f_{7/2}) = 4.22 \text{ Фм}$$

$$r_{rms}(2p_{3/2}) = 5.04 \text{ Фм}$$

$$r_{rms}(1f_{7/2}) - r_{rms}(2p_{3/2}) = 0.82 \text{ Фм}$$

2. Диффузность $a_{HF} = 0.58 \text{ Фм}$

(↓, $a_V = 0.67 \text{ Фм}$):

$$r_{rms}(1f_{7/2}) = 4.13 \text{ Фм}$$

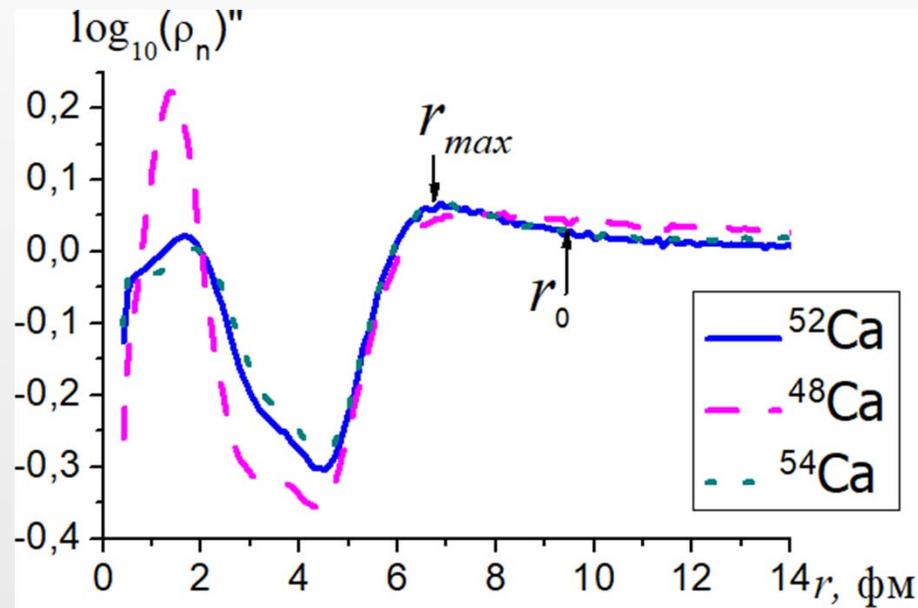
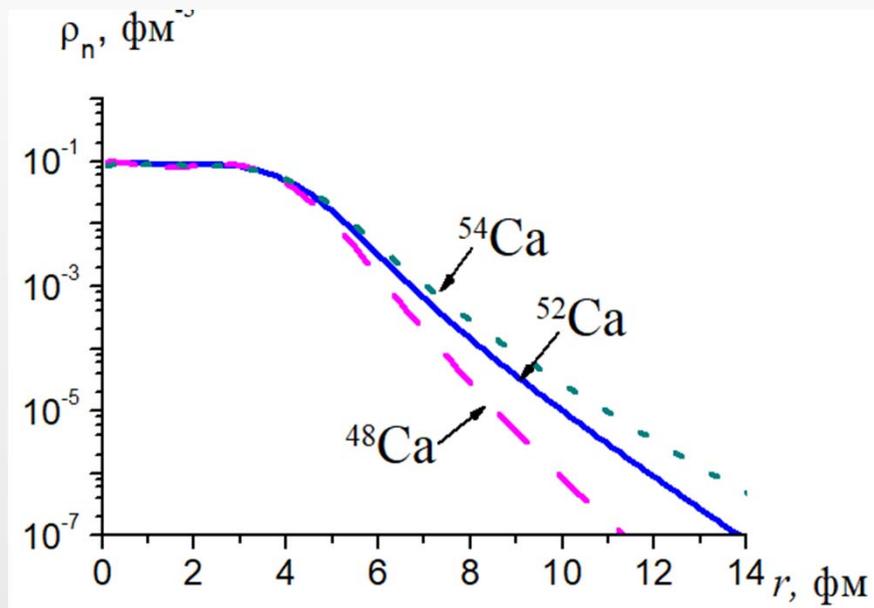
$$r_{rms}(2p_{3/2}) = 4.94 \text{ Фм}$$

$$r_{rms}(1f_{7/2}) - r_{rms}(2p_{3/2}) = 0.81 \text{ Фм}$$

3. Учет тензорного члена
во взаимодействии Скирма SGII+T:
(модель ХФ+БКШ)

$$r_{rms}(2p_{3/2}) \downarrow \text{ на } 0.1 \text{ Фм}$$

Гало-подобная структура оболочек 2p в изотопах Ca



$$\left. \frac{\partial^2 \log_{10} \rho(r)}{\partial r^2} \right|_{r=r_0} \equiv \frac{2}{5} \left. \frac{\partial^2 \log_{10} \rho(r)}{\partial r^2} \right|_{r=r_{max}}$$

V. Rotival, and T. Duguet. PRC C 79, 054308 (2009)

⁵²Ca:

$N(r_{max}) \approx 0.5$ нейтрона, $r \geq r_{max}$
 $N(r_0) \approx 0.03 \pm 0.01$ нейтрона, $r \geq r_0$

⁵⁴Ca:

$N(r_{max}) \approx 0.8$ нейтрона, $r \geq r_{max}$
 $N(r_0) \approx 0.07 \pm 0.03$ нейтрона, $r \geq r_0$

Заключение

1. Достижение минимума величины Δ_F может служить указанием на магические свойства ядра.
2. В ^{52}Ca расчетный среднеквадратичный радиус r_{rms} нейтронного состояния $2p_{3/2}$ превысил радиус нижележащего состояния $1f_{7/2}$ на 0.8 фм, что согласуется с представлением о гало-подобной структуре состояния $2p_{3/2}$, которая рассматривается в качестве причины «неожиданно большого» зарядового радиуса этого ядра.
3. Количество нейтронов в гало области ($r > r_0$) $^{52,54}\text{Ca}$ мало.
4. Значение r_{rms} нейтронного состояния $2p_{3/2}$ завышено по сравнению с экспериментальным, что можно объяснить отсутствием в дисперсионной оптической модели учета притягивающего тензорного взаимодействия.

Беспалова О.В., Климочкина А.А. Магичность, радиусы нейтронных орбит $1f_{7/2}$, $2p_{3/2}$ и галоподобная структура в ядрах $^{52,54}\text{Ca}$. Ядерная физика, том 87, № 2 (2024), с. 102-107. [O. V. Bepalova, A. A. Klimochkina. Physics of Atomic Nuclei, 2024, Vol. 87, No. 2, pp. 105–111].

Спасибо за внимание!



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына
Физический факультет