

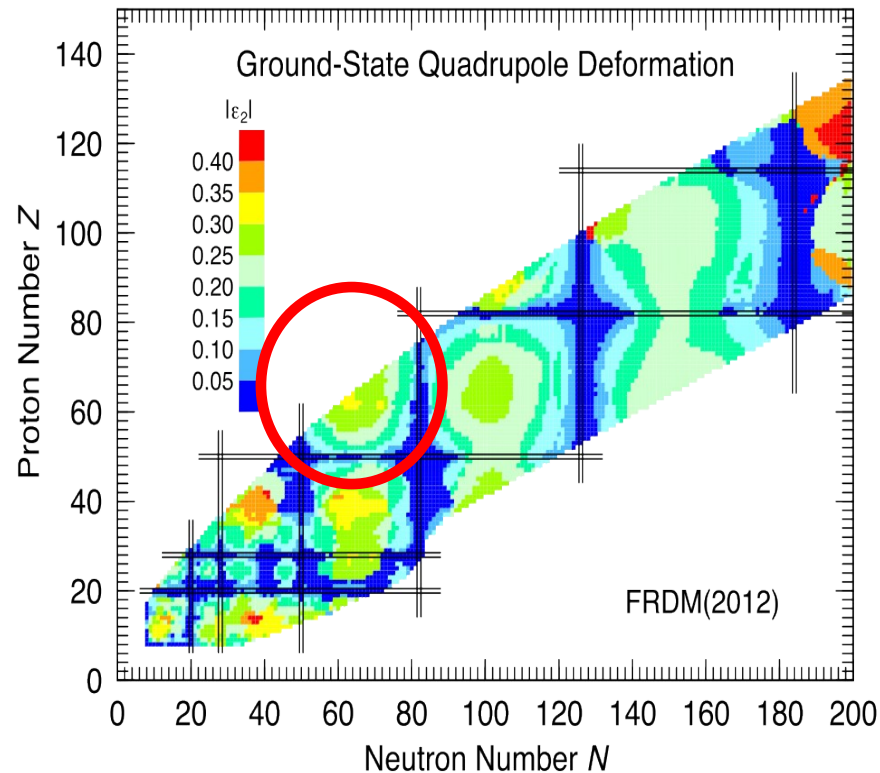
Эксперименты с лазерным ионным источником на установке ISOLDE (CERN; *RILIS-IDS collaboration*)

А. Е. Барзах, П. Л. Молканов,
М. Д. Селиверстов, Д. В. Федоров

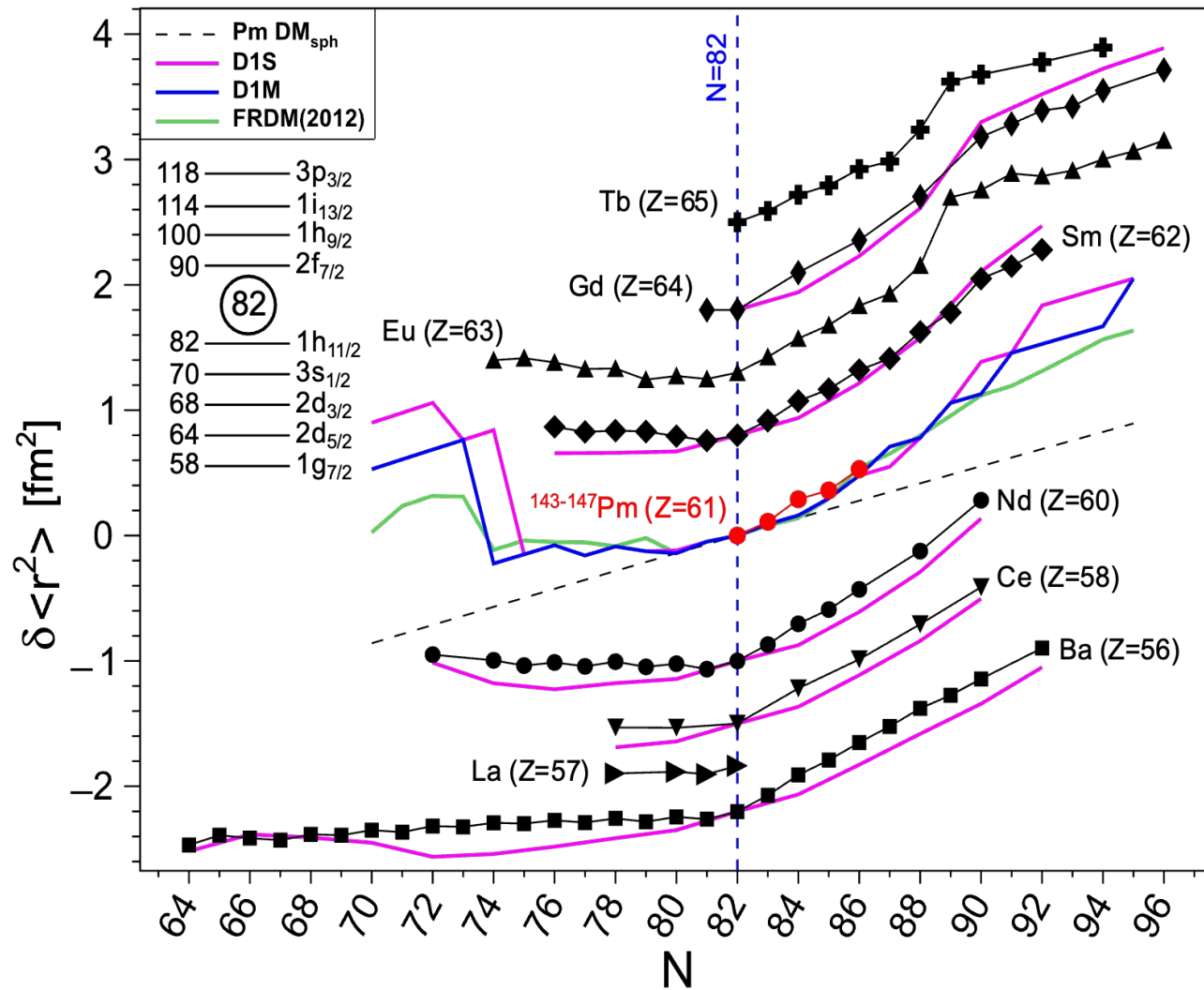
IS770 First online laser spectroscopy study of promethium isotopes

IS747 Laser and nuclear decay spectroscopy study of the neutron-rich high-spin states in the $^{212, 213}\text{Bi}$ isotopes with LIST

Preliminary!

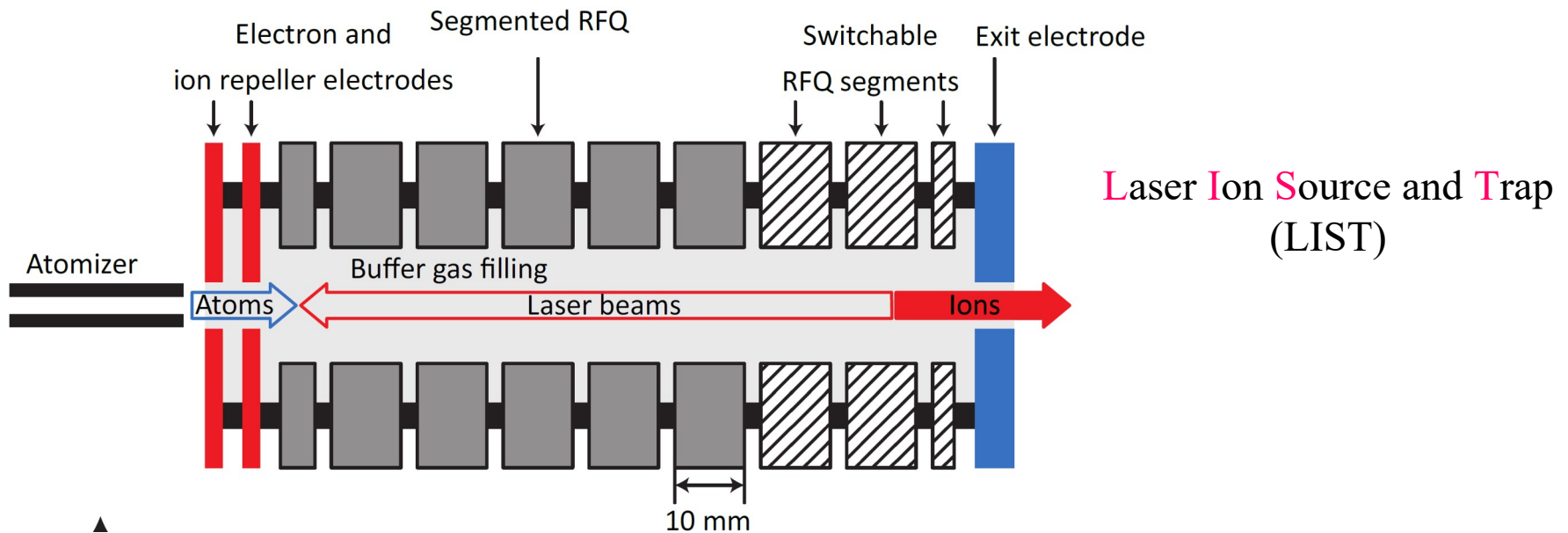


- deformed shell model calculations indicate large and sudden jump in deformation close to proton drip line (strongly pronounced in $N = 74$ and 75 in the Pm chain)
- available $\delta\langle r^2 \rangle$ and Q data (Sm, Eu, Nd isotopes) limited to moderately deformed cases with observed smooth onset of deformation

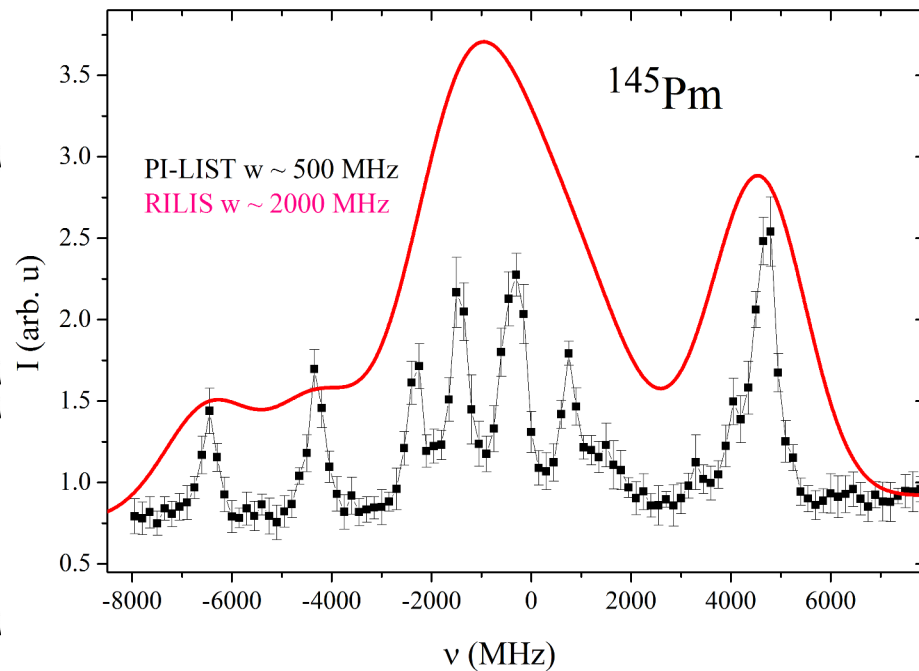
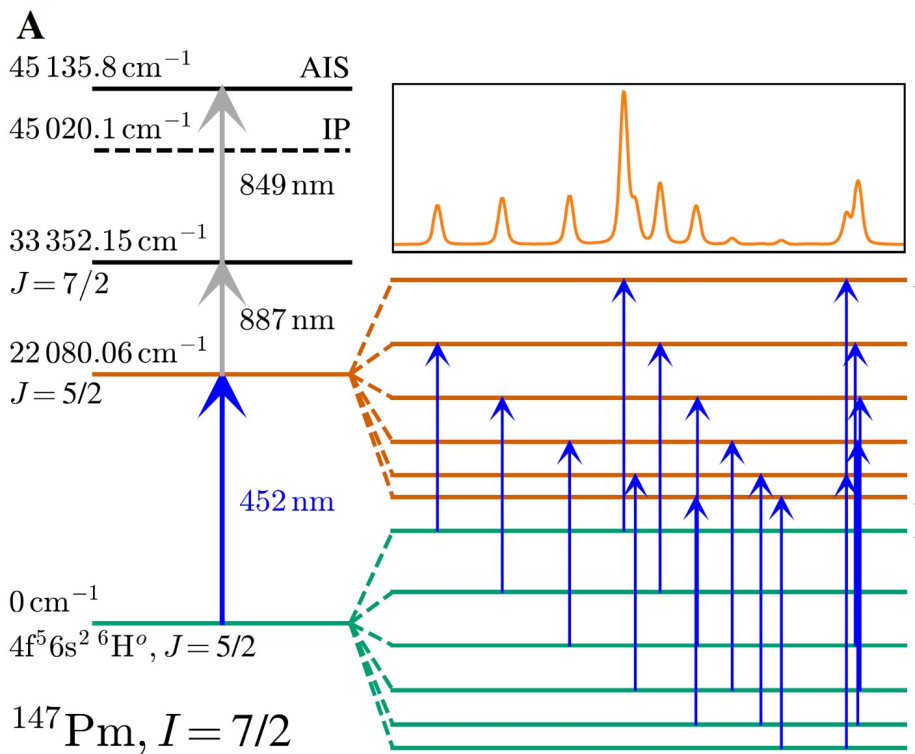


Problem: huge background due to surface ionization of the rare earth isobars, ~ 100 times larger than signal at $A = 135$

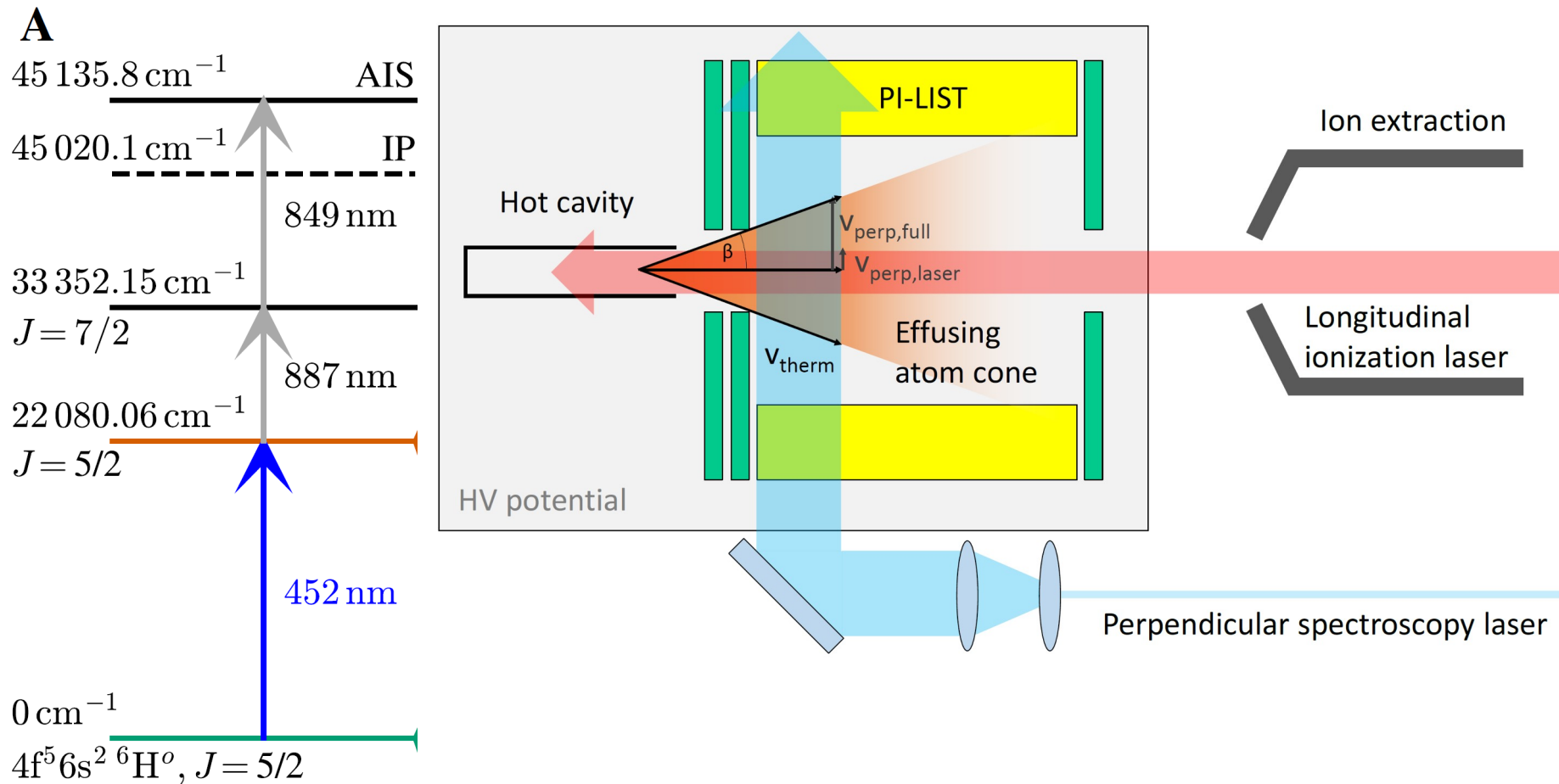
IS 770: First online laser spectroscopy study of promethium isotopes



Problem: complicated narrow hfs



Perpendicularly Illuminated LIST (PI-LIST)

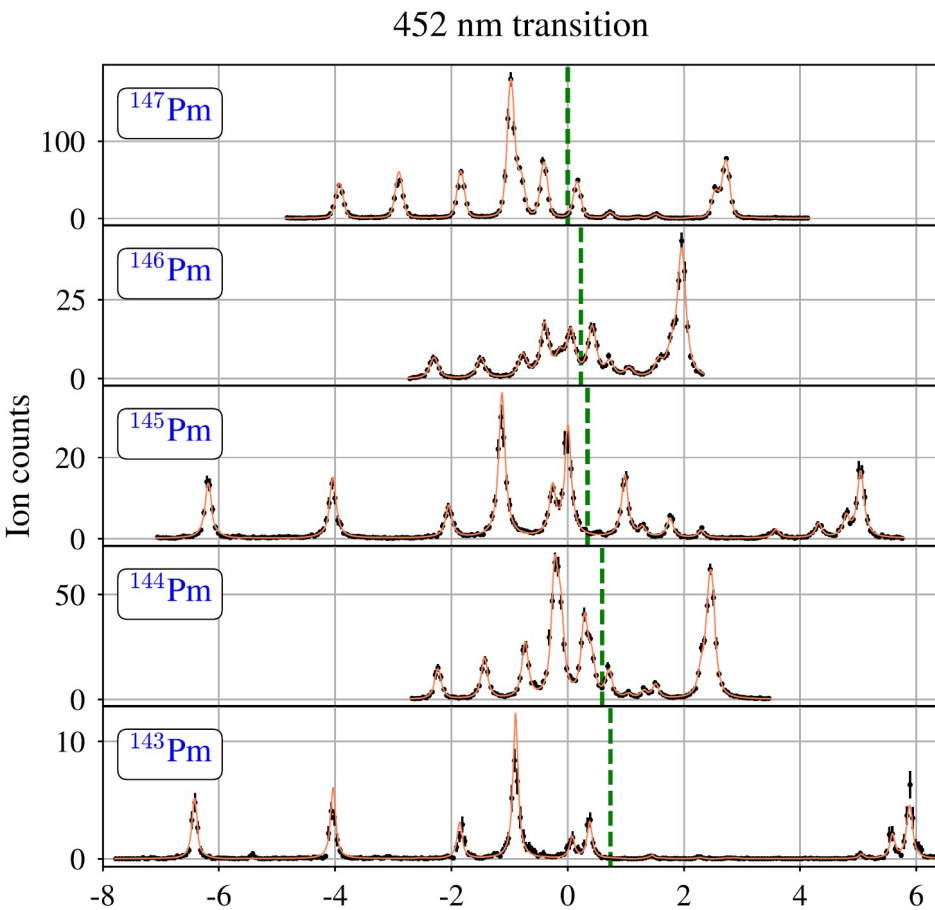


Loss factor (RILIS → PI-LIST) ~ 100–200

¹⁴⁷Pm, $I = 7/2$

PI-LIST is necessary to resolve complex Pm hfs and to decrease huge surface-ionization background from adjacent rare-earths

Mainz:

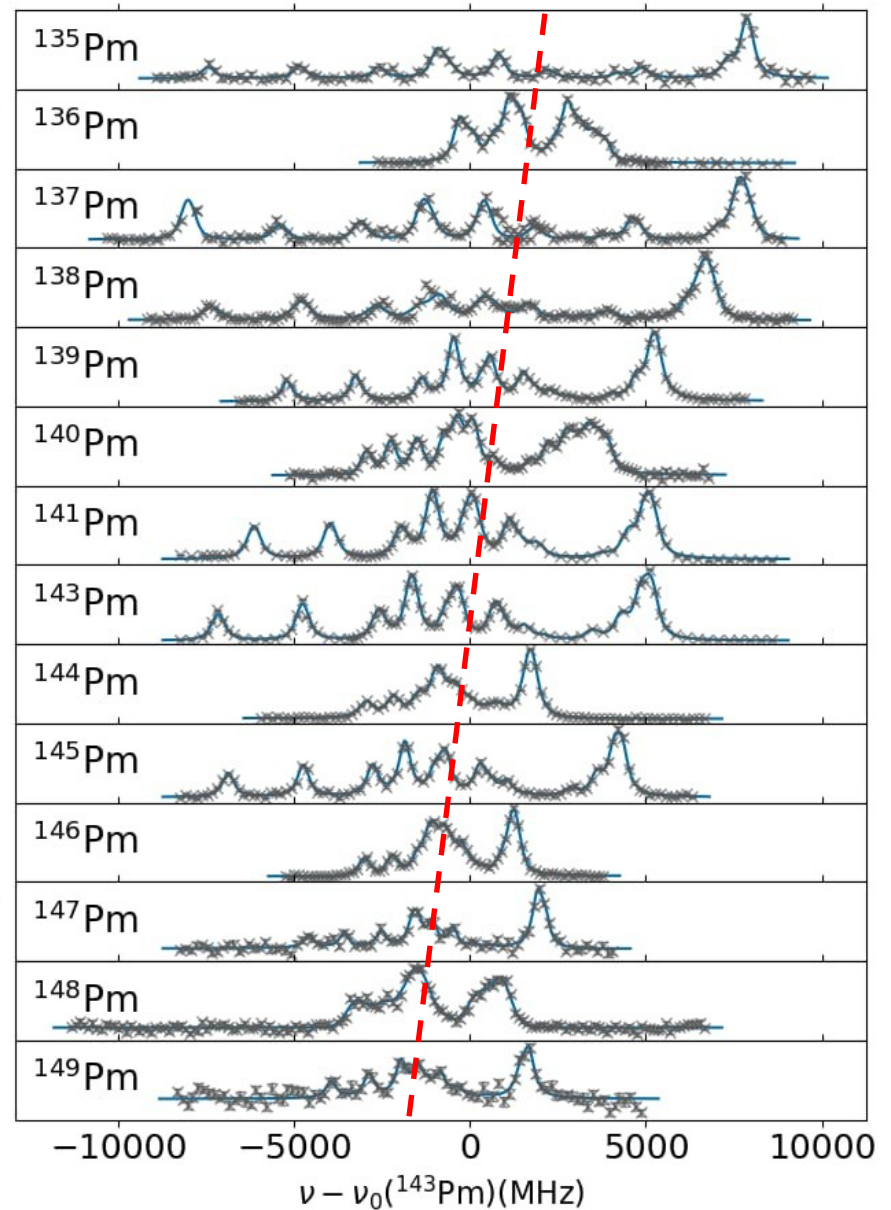


D. Studer et al.

Eur. Phys. J. A (2020) 56

$A = 143, 144, 145, 146, 147$

Present work:



Problem: complicated atomic structure hampers extraction of $\delta \langle r^2 \rangle$:
open shells 6p, 4f, 5d; lower level (g.s) $4f^n 6s^2$

$$\text{Extraction of } \delta \langle r^2 \rangle \quad \delta v_i^{A,A'} = M \frac{1}{\mu^{A,A'}} + \underbrace{F_i \delta \langle r^2 \rangle}_{\text{FS}}^{A,A'} \quad \mu^{A,A'} = m_A m_{A'} / (m_A + m_{A'})$$

$$M = M_{\text{NMS}} + M_{\text{SMS}}$$

$$H_{A'}^{\text{SC}} - H_A^{\text{SC}} = \frac{1}{2} \left(\underbrace{\sum_i \vec{p}_i^2}_{\text{NMS}} + \underbrace{\sum_{i \neq j} \vec{p}_i \cdot \vec{p}_j}_{\text{SMS}} \right)$$

Mainz:

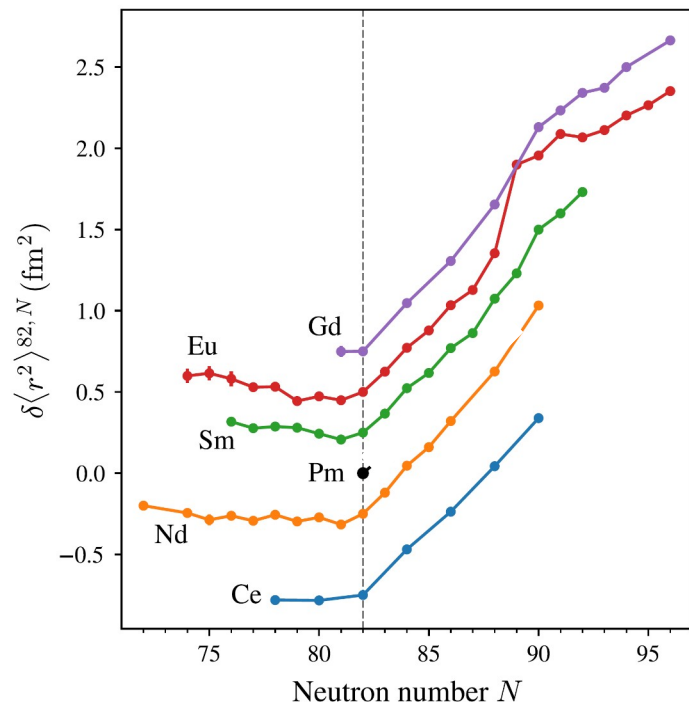
D. Studer et al.

Eur. Phys. J. A (2020) 56

$$452 \text{ nm: } s^2 \rightarrow sp \text{ transition} \quad \Longrightarrow \quad M_{\text{NMS}} = v / (m_p/m_e) = 360 \text{ GHz} \cdot \text{amu}$$

$$M_{\text{SMS}} = 0 \pm M_{\text{NMS}}$$

Mainz:



Z	Element	$\delta\langle r^2 \rangle^{N, N+2} \text{ (fm}^2\text{)}$
64	Gd	0.282(8)
63	Eu	0.272(12)
62	Sm	0.274(22)
60	Nd	0.296(20)
59	Ce	0.256(14)

weighted average $\overline{\delta\langle r^2 \rangle^{N, N+2}} = 0.276(13) \text{ fm}^2$

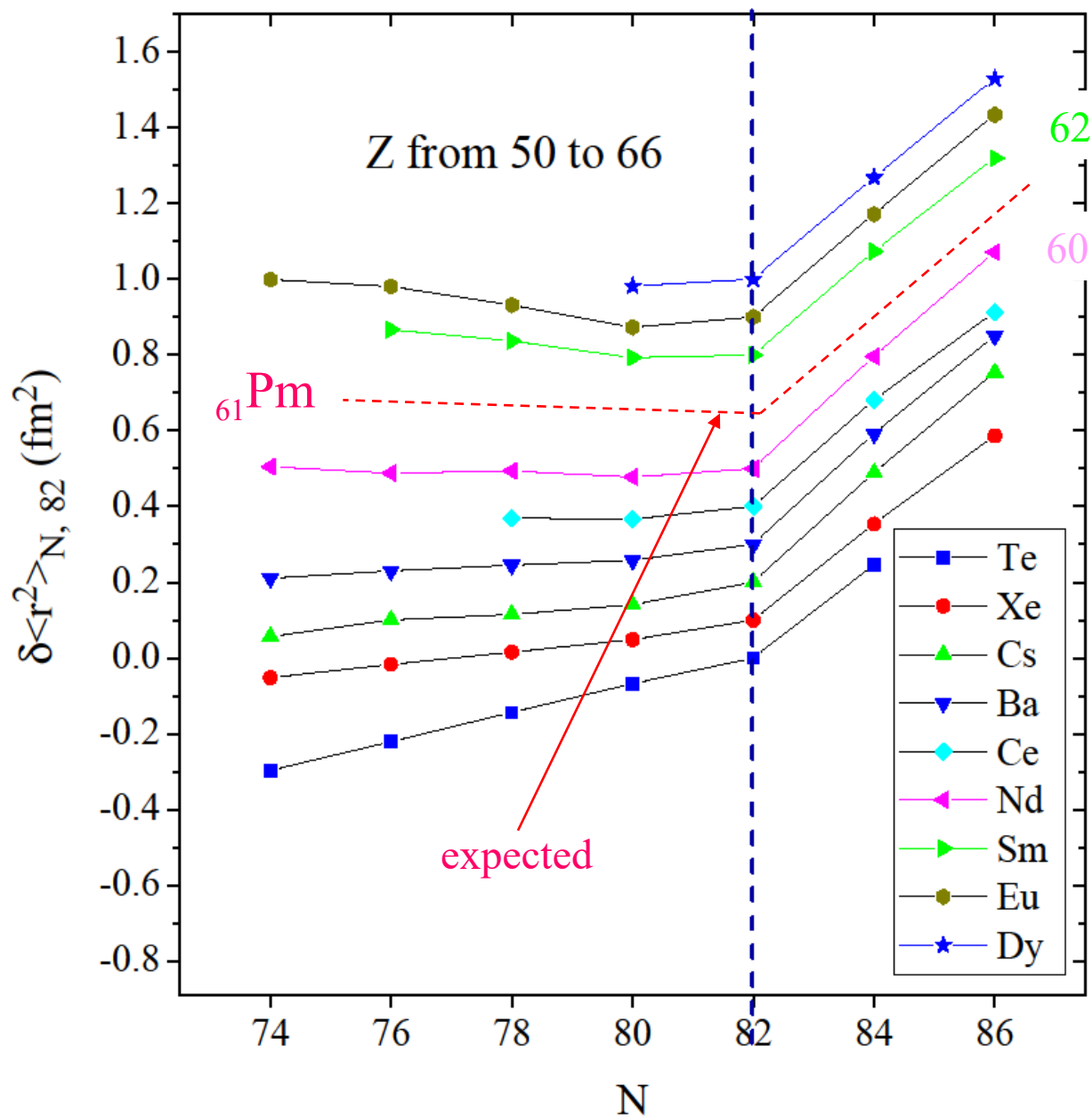
$$\delta\nu_i^{A, A'} = M \frac{1}{\mu^{A, A'}} + F_i \delta\langle r^2 \rangle^{A, A'}$$

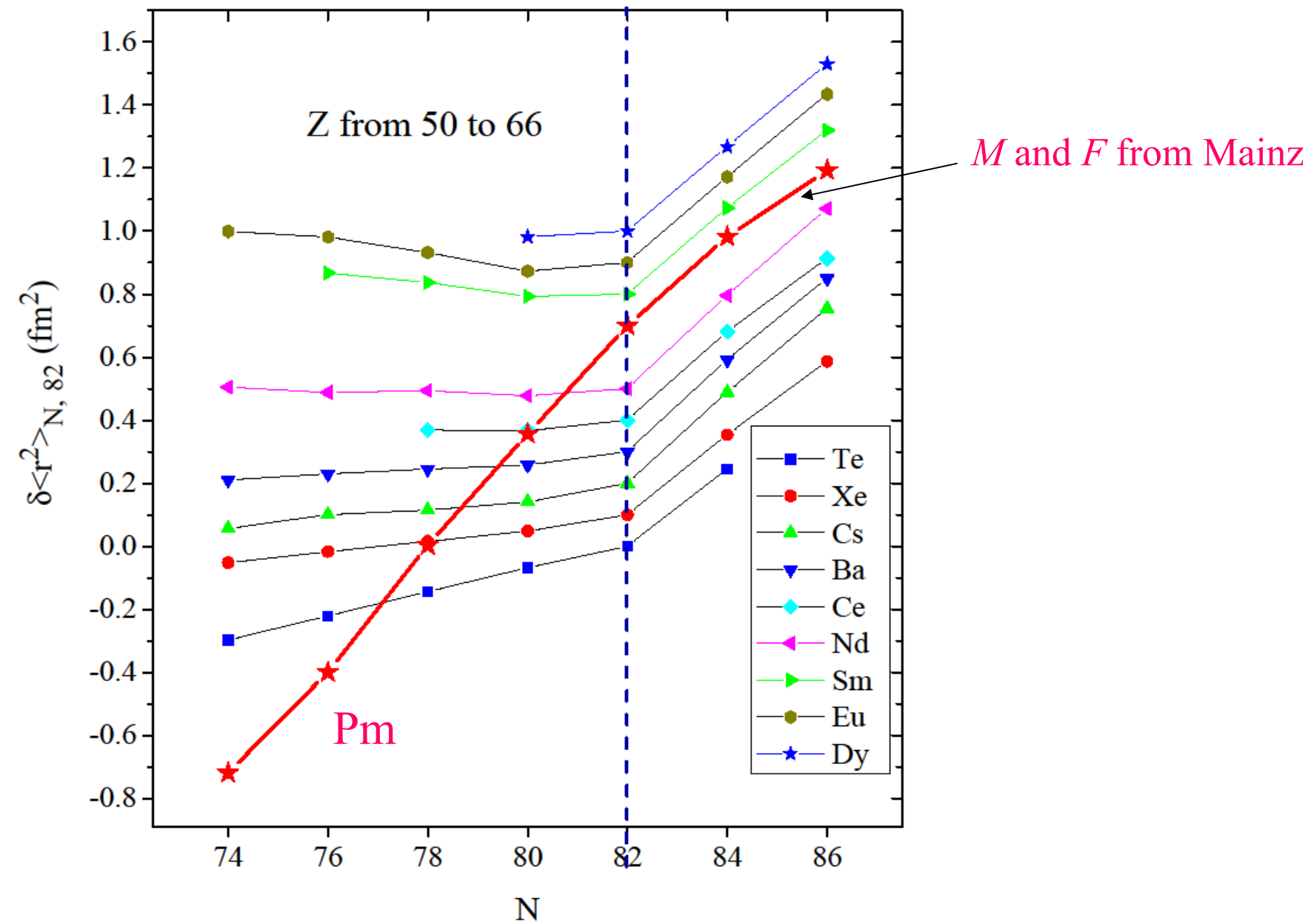
$$M = 360(360) \text{ GHz} \cdot \text{amu}$$

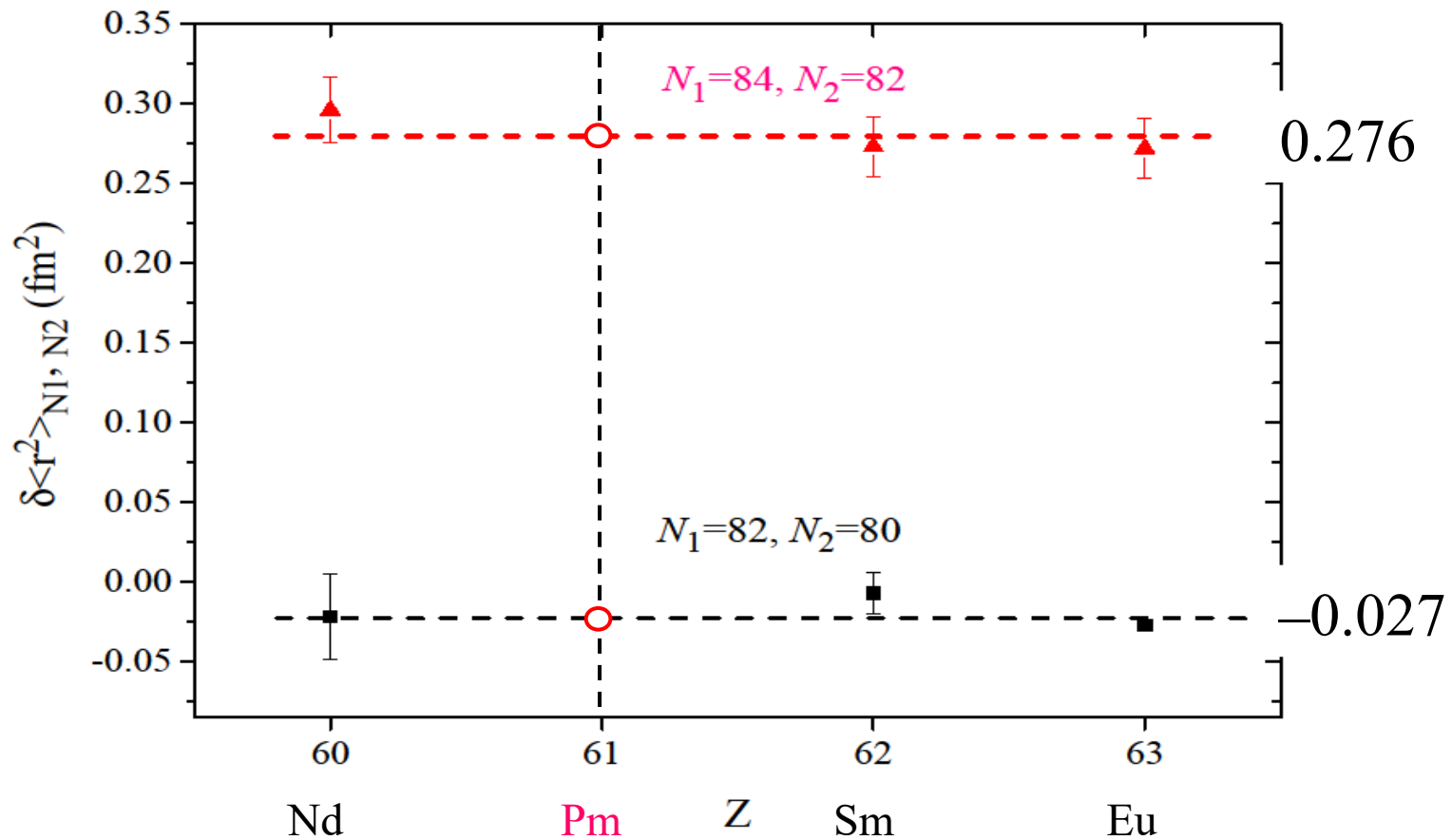


$$F = \overline{\text{FS}^{N, N+2}} / \overline{\delta\langle r^2 \rangle^{N, N+2}}$$

$$= -1210(60) \text{ MHz/fm}^2$$

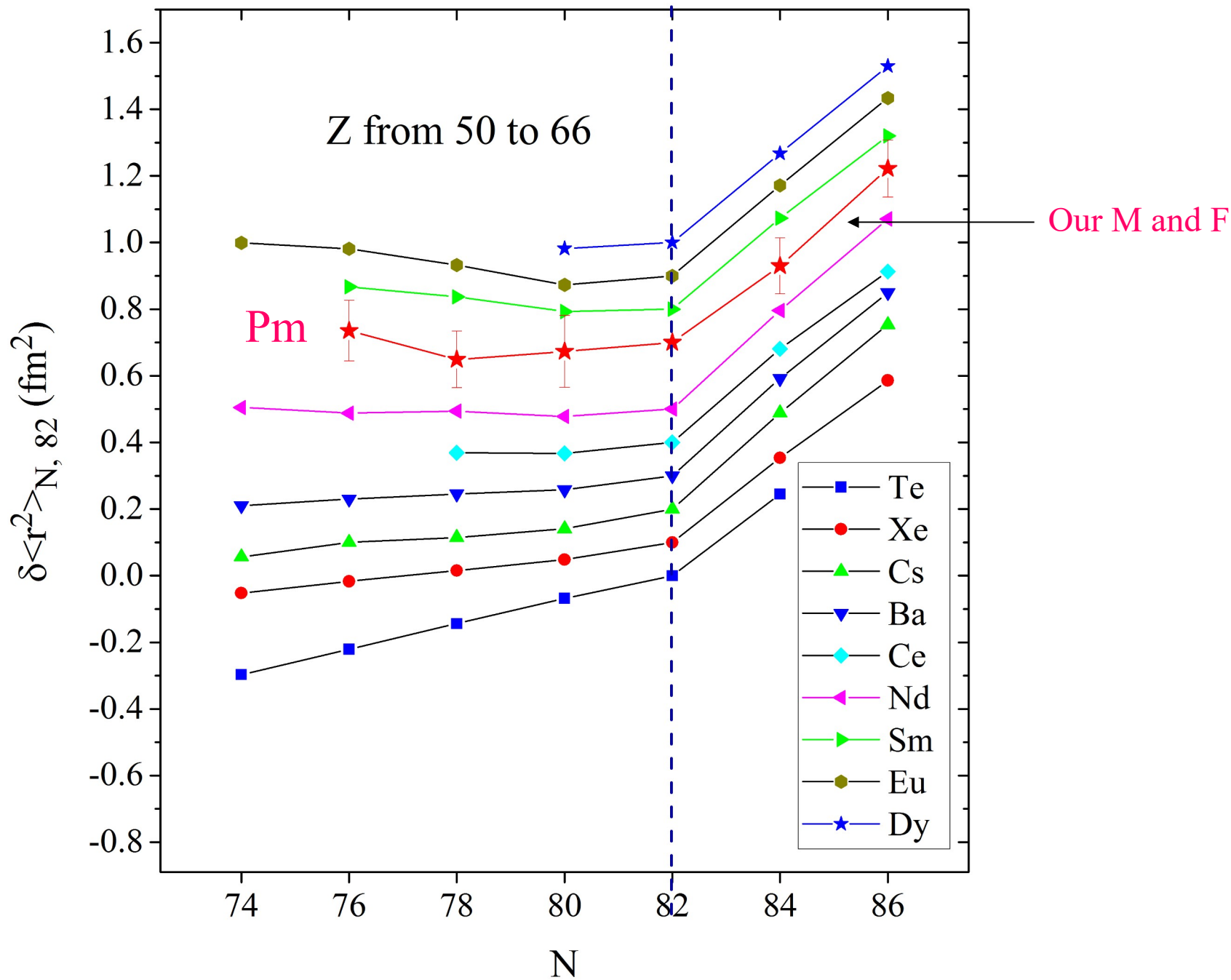






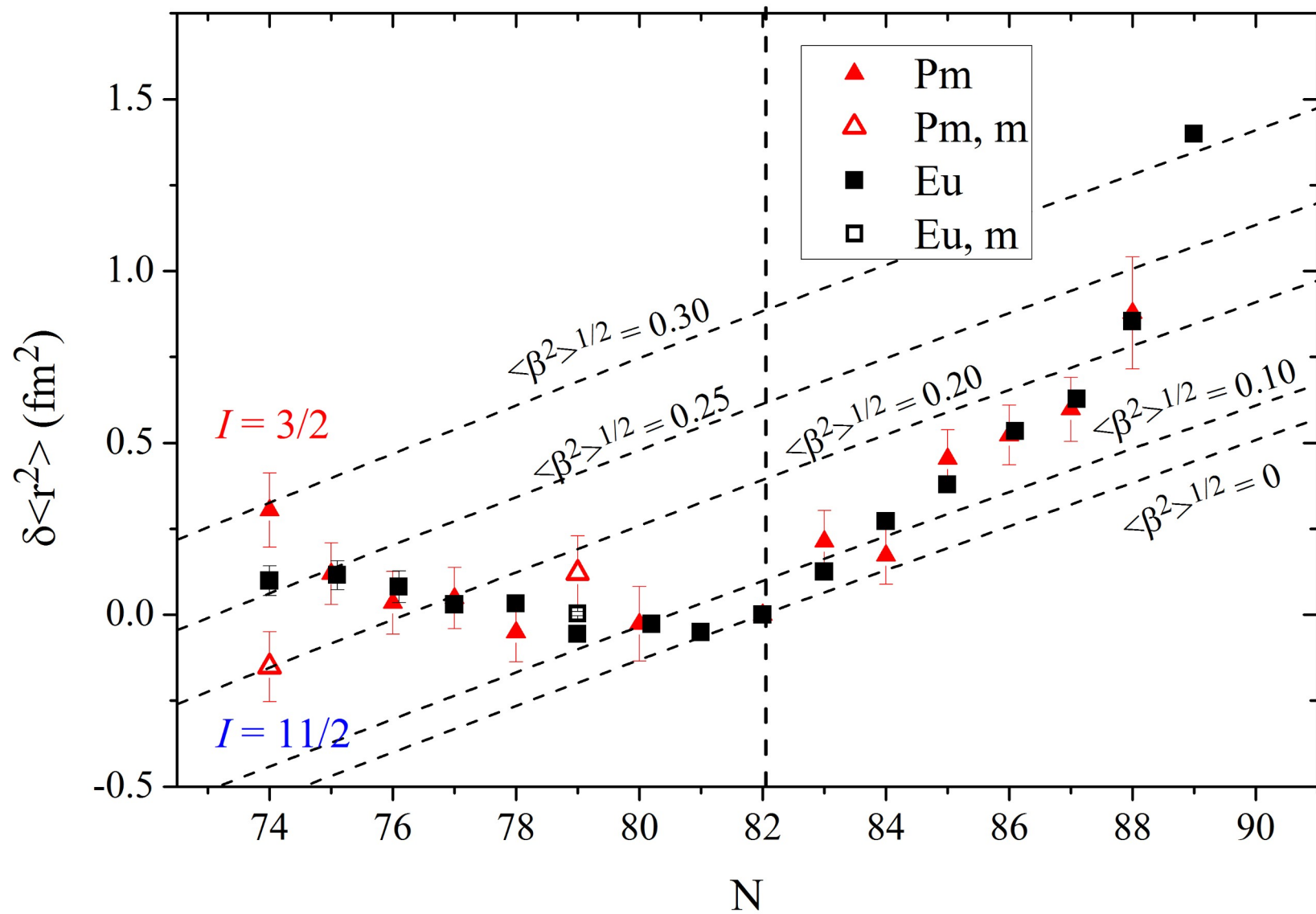
$$\left. \begin{aligned} \delta\langle r^2 \rangle^{82, 80}(F, M) &= -0.027 \text{ fm}^2 \\ \delta\langle r^2 \rangle^{84, 82}(F, M) &= 0.276 \text{ fm}^2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} M &= 4660 \text{ GHz*amu} \\ F &= 427 \text{ MHz/fm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mainz: } M &= 363 \text{ GHz*amu} \\ F &= -1210 \text{ MHz/fm}^2 \end{aligned}$$

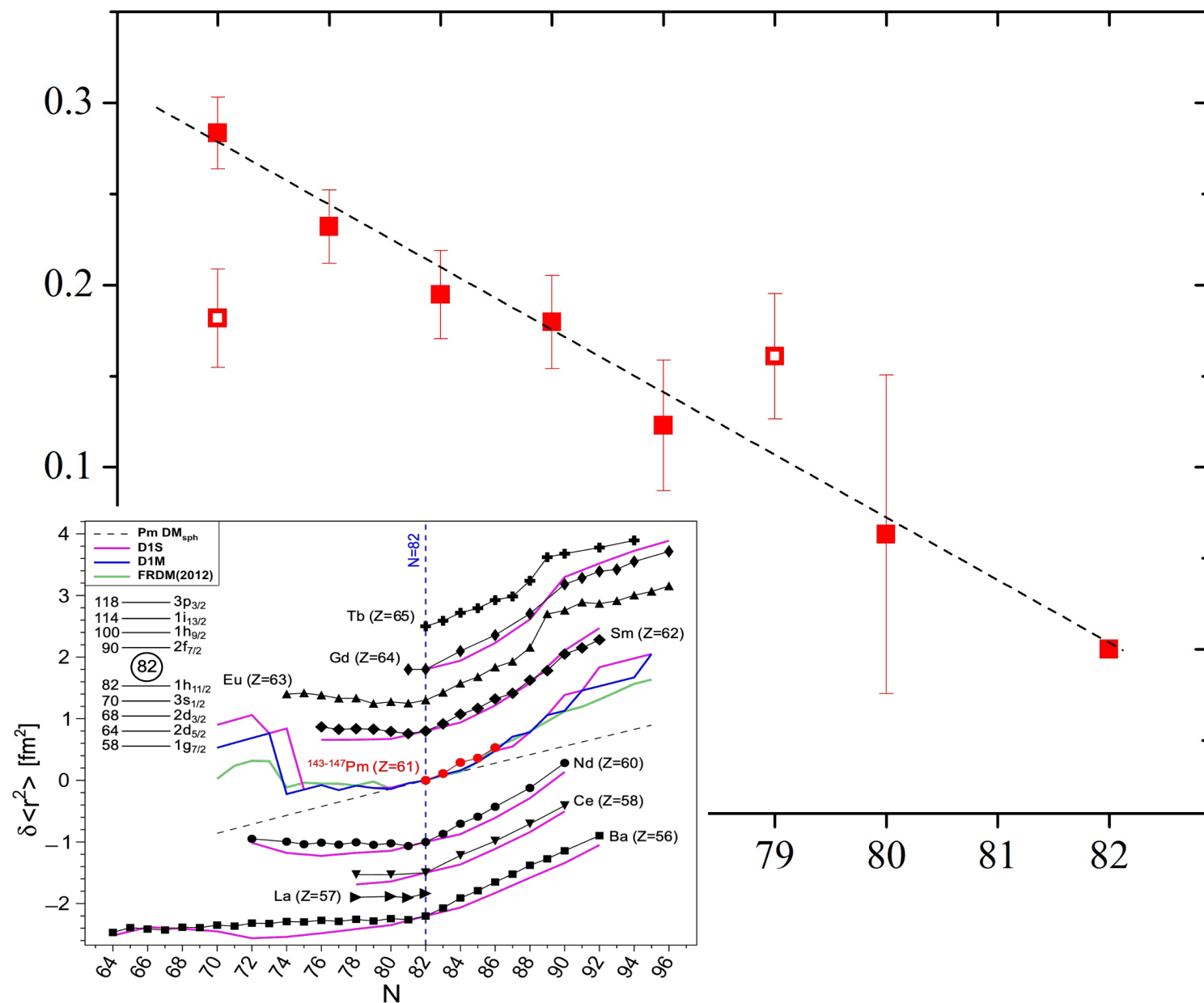


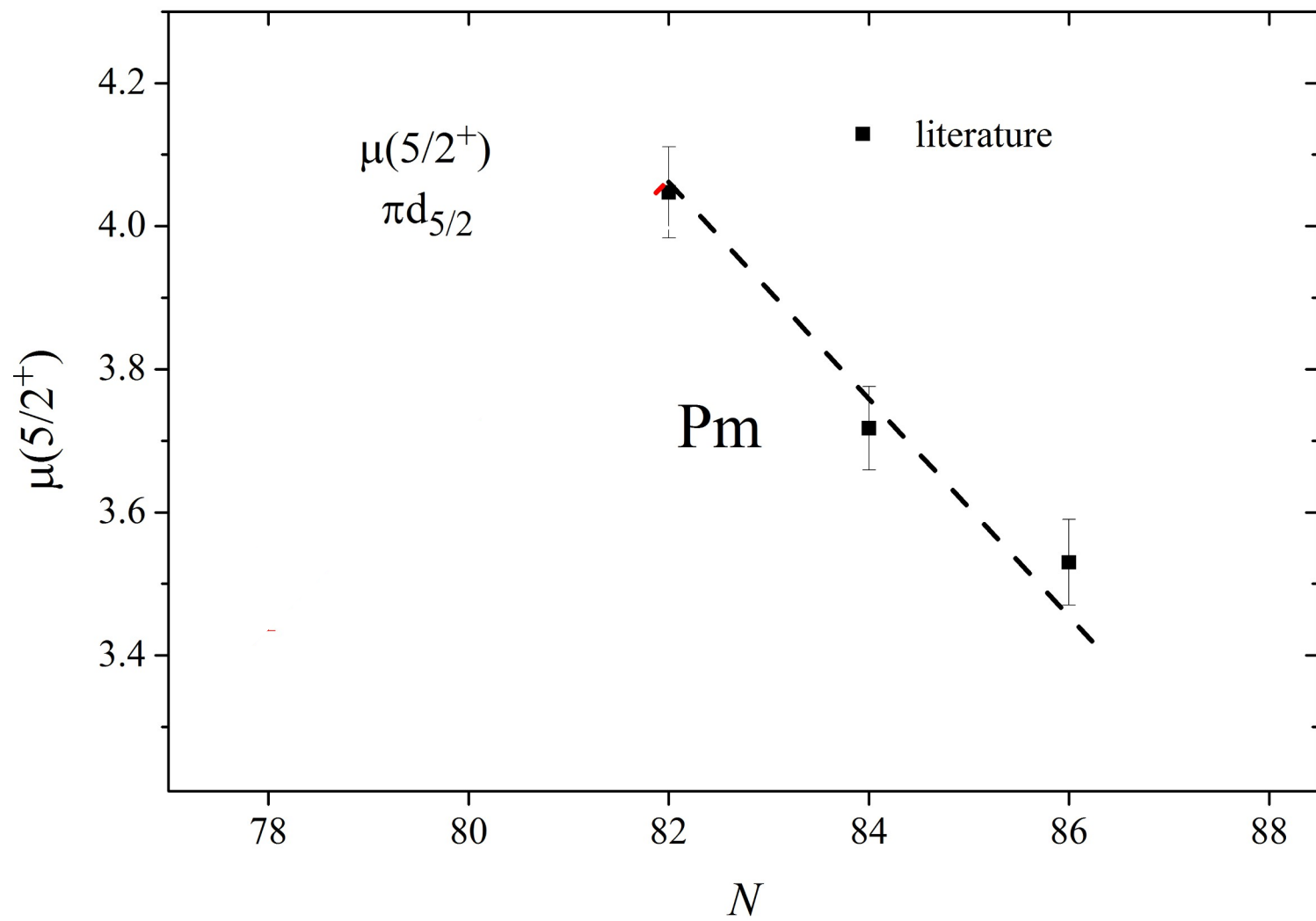
lower level (g.s) $4f^n 6s^2$ upper levels $4f^n 6s6p$ or $4f^{n-1} 5d 6s^2$
(s $\rightarrow$ p transition) (f $\rightarrow$ d transition)

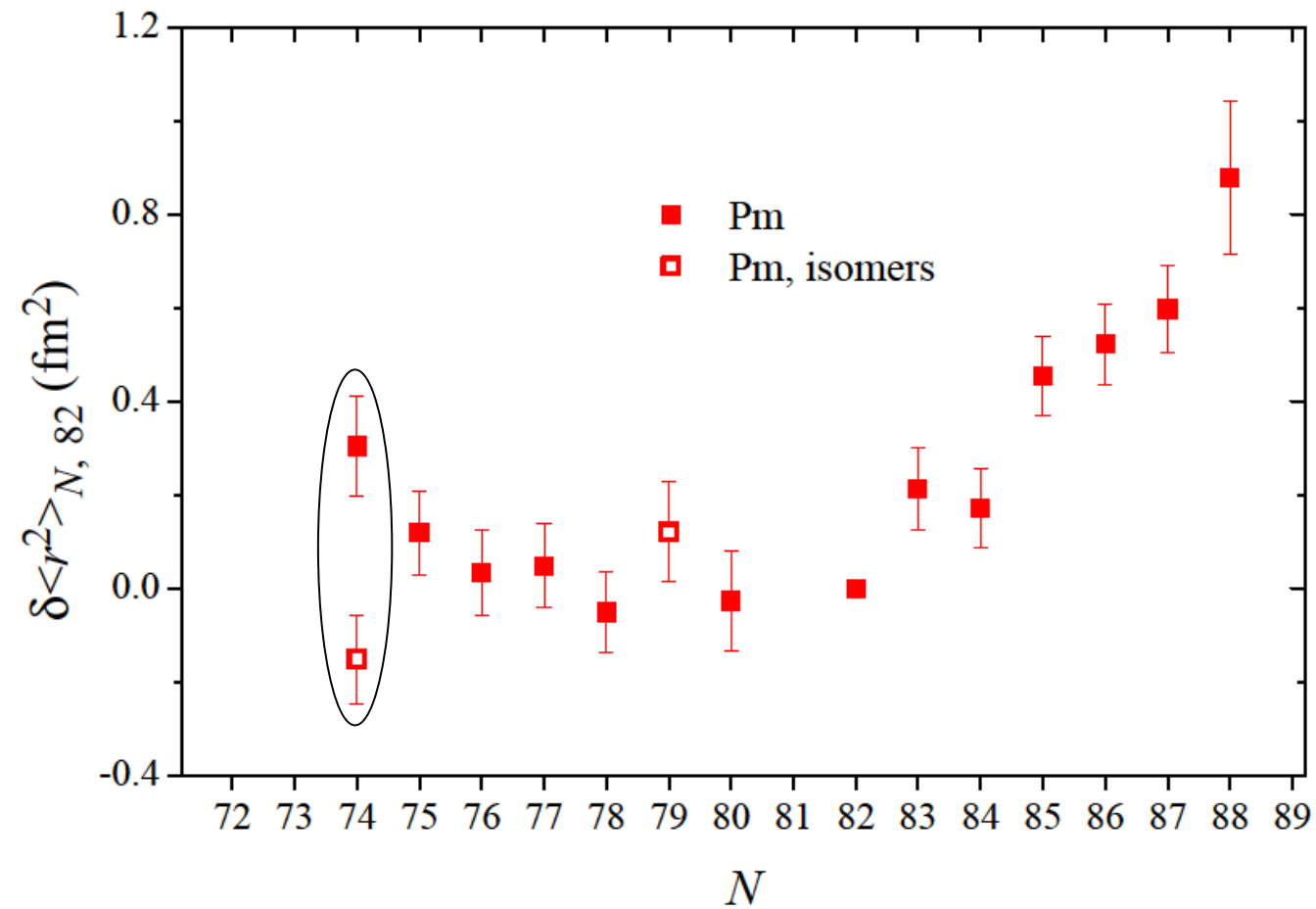
$$\langle r^2 \rangle = \langle r^2 \rangle_{DM} \cdot \left(1 + \frac{5}{4\pi} \langle \beta^2 \rangle\right)$$



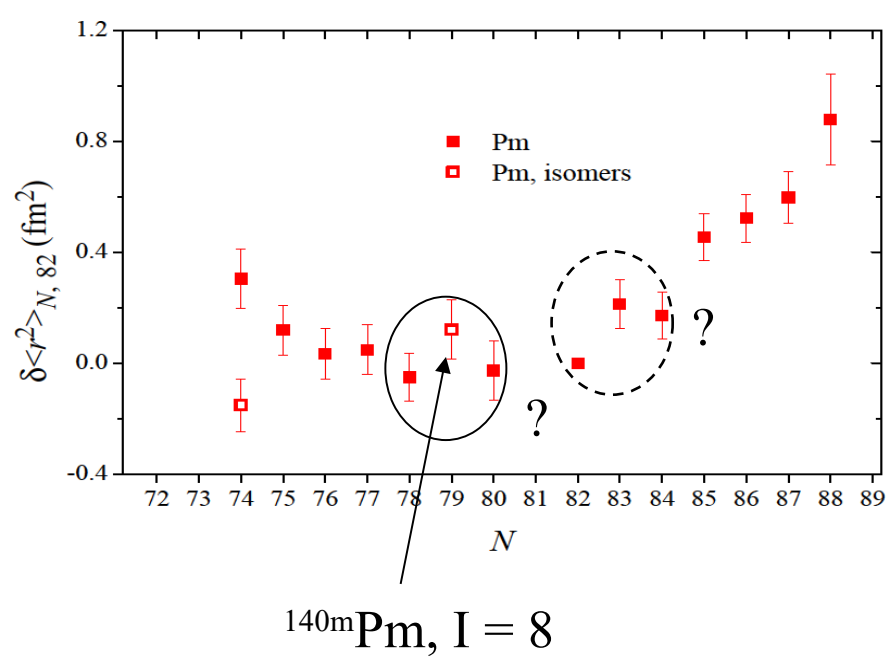
$\langle \beta^2 \rangle_{\text{DM}}^{1/2}$







Large isomer shift at $N = 74$ (shape coexistence)



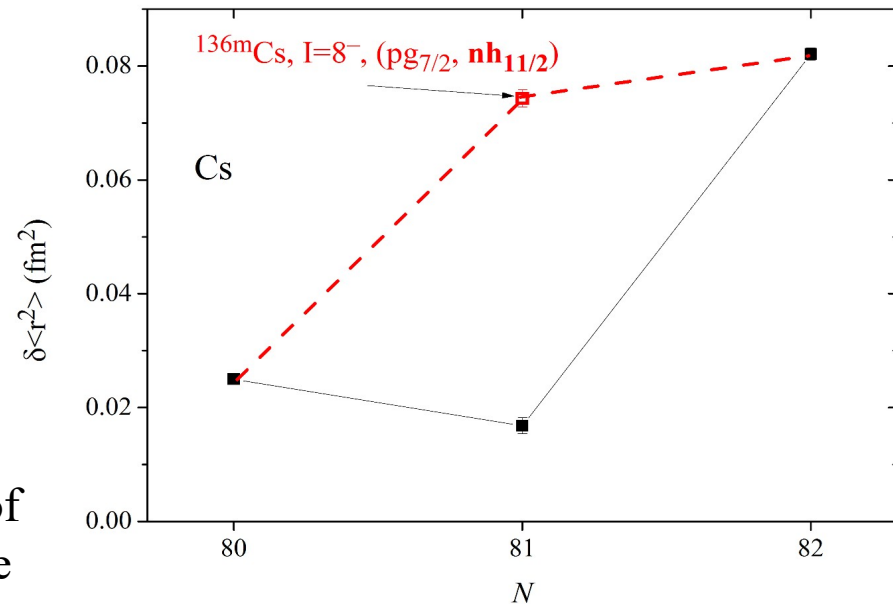
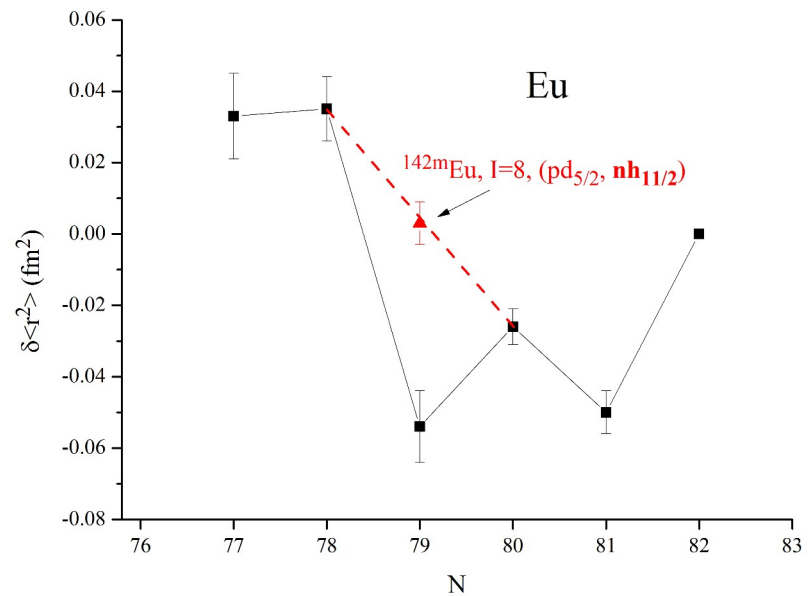
$N = 79$:

$$\mu(^{142}\text{mEu}; 8^-) = 2.98(1) \text{ n. m.}$$

$$\mu(^{140}\text{mPm}; 8^-) = 2.96(5) \text{ n. m.}$$

configuration $\text{pd}_{5/2}, \text{nh}_{11/2}$

Inverse odd-even staggering at $N = 79$? Influence of $\text{nh}_{11/2}$ occupation? Cf. Eu isomer at $N = 79$ with the same configuration and Cs 8^- isomer at $N = 81$.



Итоги

1. Продemonстрирована эффективность подавления устройством LIST/PI-LIST изобарного фона, возникающего вследствие поверхностной ионизации. Показано, что существенное улучшение разрешения при использовании PI-LIST позволяет измерять ядерные характеристики редкоземельных изотопов с достаточной точностью. Таким образом доказана возможность прецизионных и эффективных исследований с помощью лазерного ионного источника в области редких земель в целом.
2. Установлена ошибочность использованных ранее атомных факторов, необходимых для извлечения $\delta\langle r^2 \rangle$ из измеряемых изотопических сдвигов для изотопов Pm. Сравнение с данными, полученными для соседних изотопических цепочек, подтверждает адекватность предложенной для вычисления атомных факторов эмпирической процедуры.
3. Наблюдается плавный рост деформации для изотопов Pm при $N = 82-74$, что противоречит имеющимся предсказаниям.
4. Обнаружен целый ряд интересных эффектов, требующих дальнейшего исследования и анализа: сосуществование форм в ^{135}Pm , исчезновение (или инверсия) четно-нечетного эффекта в радиусах для изомеров с $I = 11/2$, характерная изотопическая зависимость $\mu(5/2)$ с максимумом при $N = 82$ и т. д.

Публикации

1. X. Y. Fu, Z. Liu, A. N. Andreyev, A. E. Barzakh et al., *Observation of a new isomer in ^{185}Au* , Chinese Physics C, Vol. 49, No. 8 (2025) 084004 DOI: 10.1088/1674-1137/add70c.
2. J. Mišt, B. Andel, A. N. Andreyev, A. E. Barzakh et al., *β - and α -decay spectroscopy of ^{182}Au* . Phys. Rev. C 112, 024328 (2025). DOI: 10.1103/rf8d-v286
3. A. E. Barzakh, A. N. Andreyev, Z. Yue et al., *Charge radii and electromagnetic moments of $^{214-218}\text{Bi}$: Exploring the “southern” border of the $Z > 82$ octupole-deformation region*, Phys. Rev. C 112, 034304 (2025) DOI: <https://doi.org/10.1103/sltw-g4d6>
4. A.N. Andreyev, A. Barzakh, M.D. Seliverstov et al., *Electromagnetic moments of $^{215,217}\text{Bi}$: Probing shell evolution beyond $N = 126$* , Phys. Lett. B 871 (2025) 140013. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2025.140013>
5. B. Andel, A. N. Andreyev, S. Bara et al., *Search for β -delayed fission of $^{178}\text{Au}^{g,m}$ and an updated systematics in the region of neutron-deficient nuclei*, Phys. Rev. C, in press