

**Сучасні наближення до
альфа-розпаду,
альфа-захвату та
альфа-ядерної взаємодії**

В. Ю. Денисов

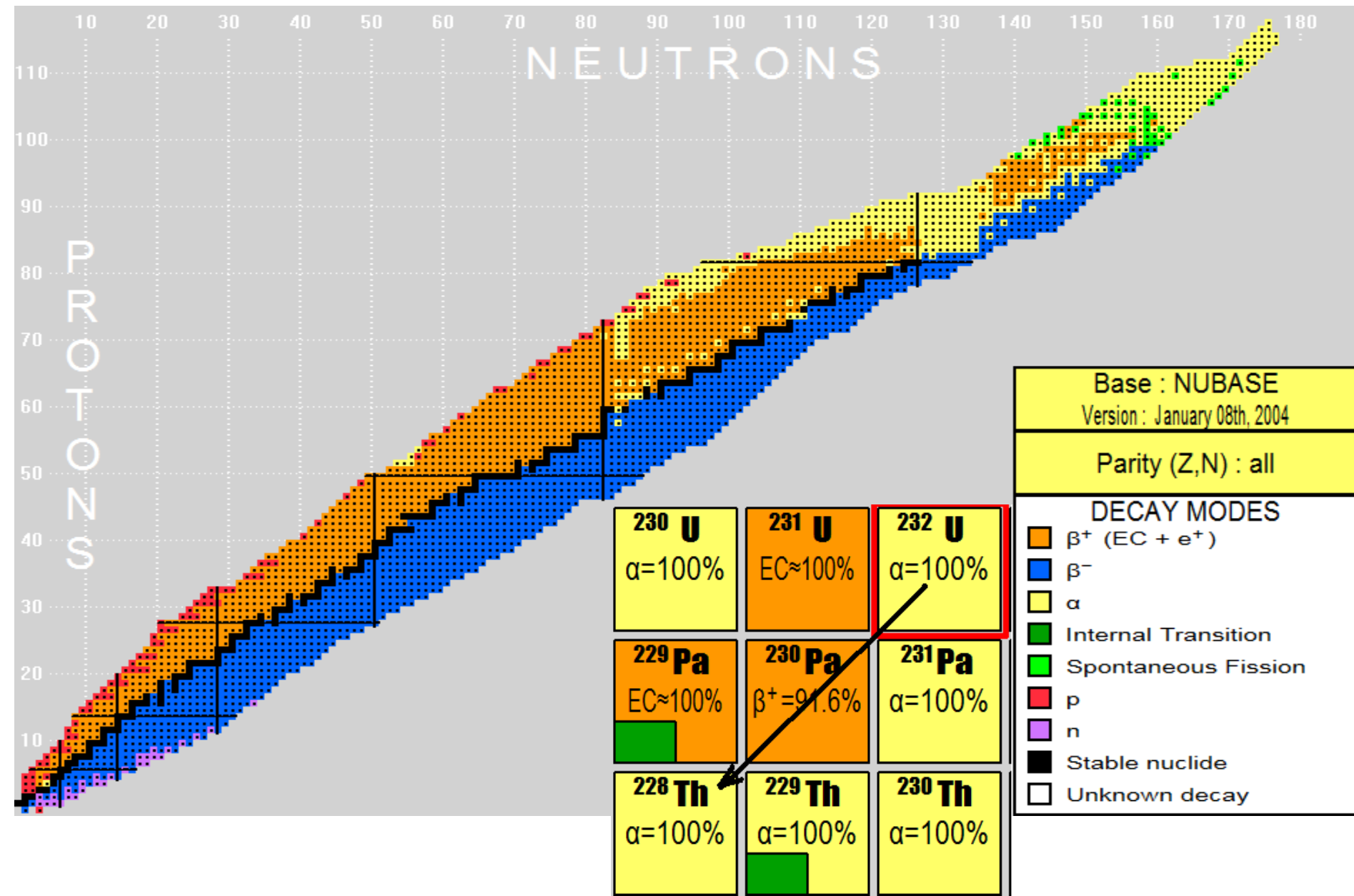
ІЯД НАН України

План

1. Вступ
2. UMADAC
3. Емпіричні співвідношення для періодів напіврозпаду альфа-розпаду
4. Корисні результати
5. Висновок

Alpha-decay: $(Z,A)=(Z-2,A-4)+{}^4\text{He}$

It takes place in ${}^8\text{Be}={}_2^4\text{He}+{}_2^4\text{He}$ and in nuclei with $Z>50$.



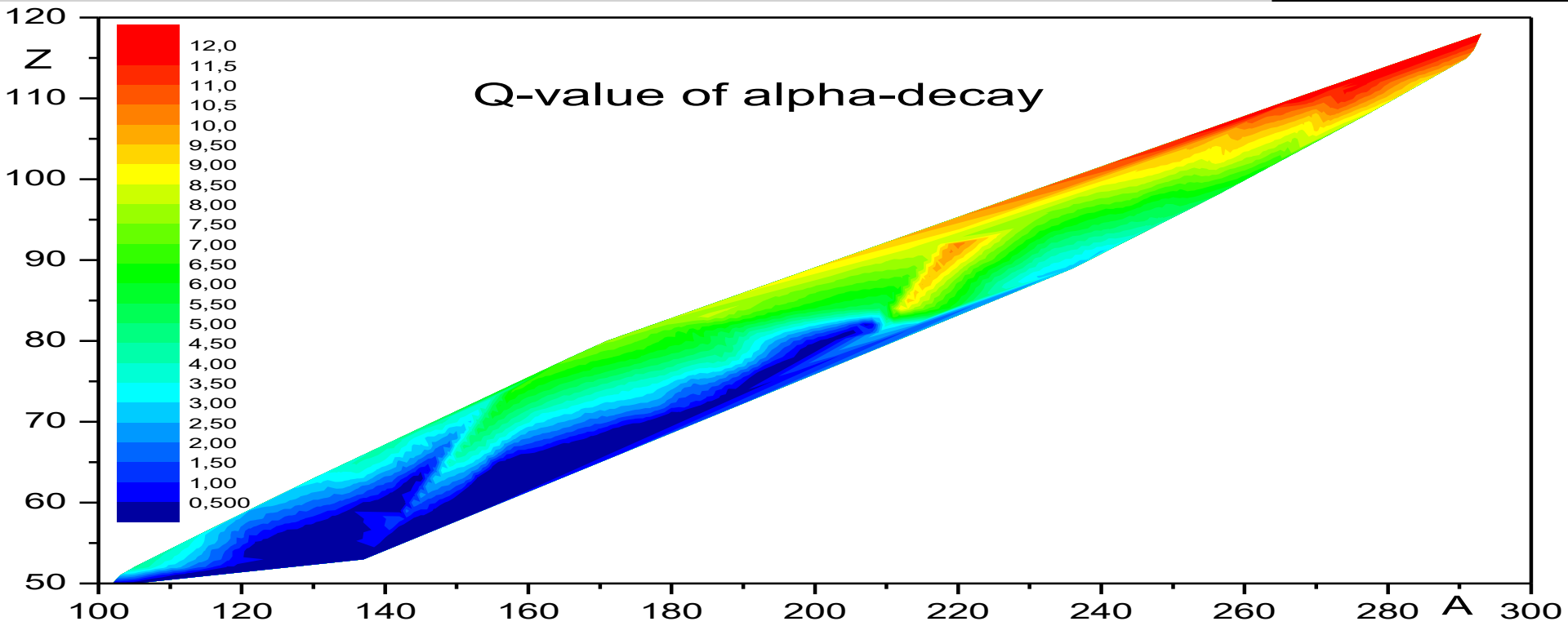
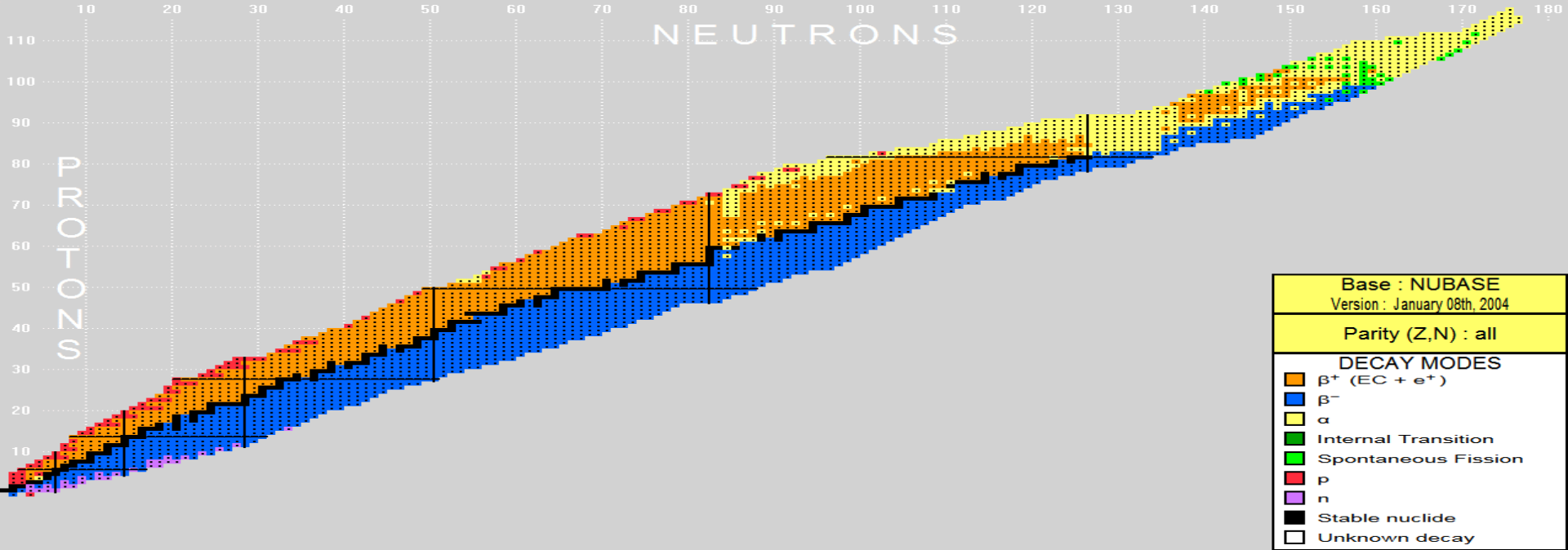
Енергетична умова альфа-распаду

$$Q = B(Z-2, A-4) + B(Z=2, A=4) - B(Z, A) > 0$$

$B(Z, A)$ - енергія зв'язку родительського ядра

$B(Z=2, A=4) = 28,295660 \text{ MeV}$ - енергія зв'язку альфа-частинки

$B(Z-2, A-4)$ - енергія зв'язку дочірнього ядра



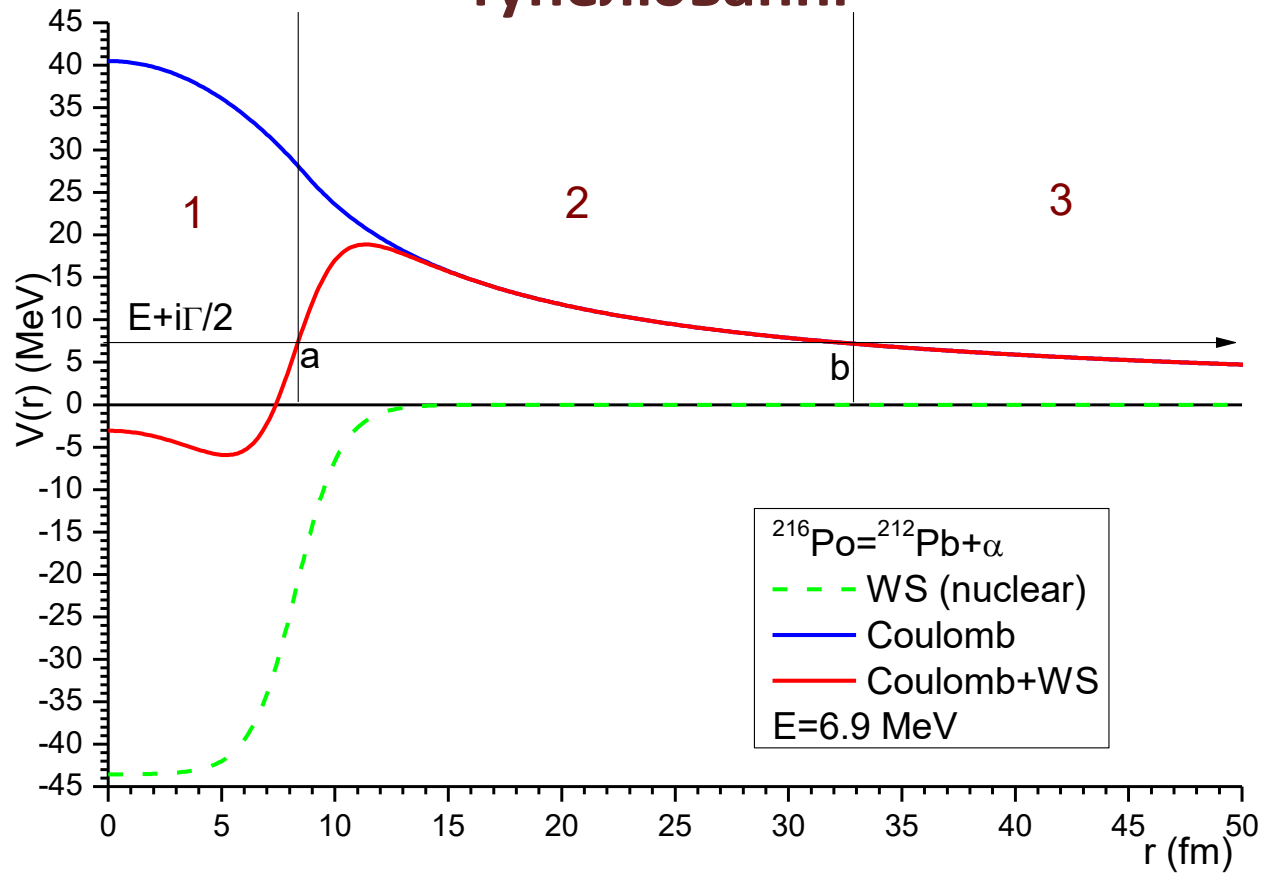
Теорія альфа-розпаду (1928 р.)

Георгий Антонович ГАМОВ

(20-II-1904, Одесса, Україна — 19-VIII-1968, Боулдер, США)

Edward CONDON and Ronald GERNI

Розпад квазістаціонарного стану при суббар'єрному тунелюванні



Теорія альфа-розпаду

$$T_{1/2} = \hbar \ln 2 / \Gamma$$

- період напіврозпаду альфа-розпаду

$$\Gamma = \frac{1}{4\pi} \int \gamma(\theta, \varphi) d\Omega$$

- загальна ширина альфа-розпаду

$$\gamma(\theta, \varphi) = \hbar \cdot 10^v t(Q_\alpha, \theta, \ell)$$

- часткова ширина альфа-розпаду для альфа-випромінювання в напрямку θ

$$t(Q_\alpha, \theta, \ell) = \frac{1}{1 + \exp \left\{ \frac{2}{\hbar} \int_{a(\theta)}^{b(\theta)} dr \sqrt{2\mu(V(r, \theta, \ell, Q_\alpha) - Q_\alpha)} \right\}}$$

- коефіцієнт пропускання для підбар'єрного тунелювання альфа-частинки в напрямку θ , μ - зведена маса альфа-частинки і дочірнього ядра.

Взаємодія альфа-частинки та ядра

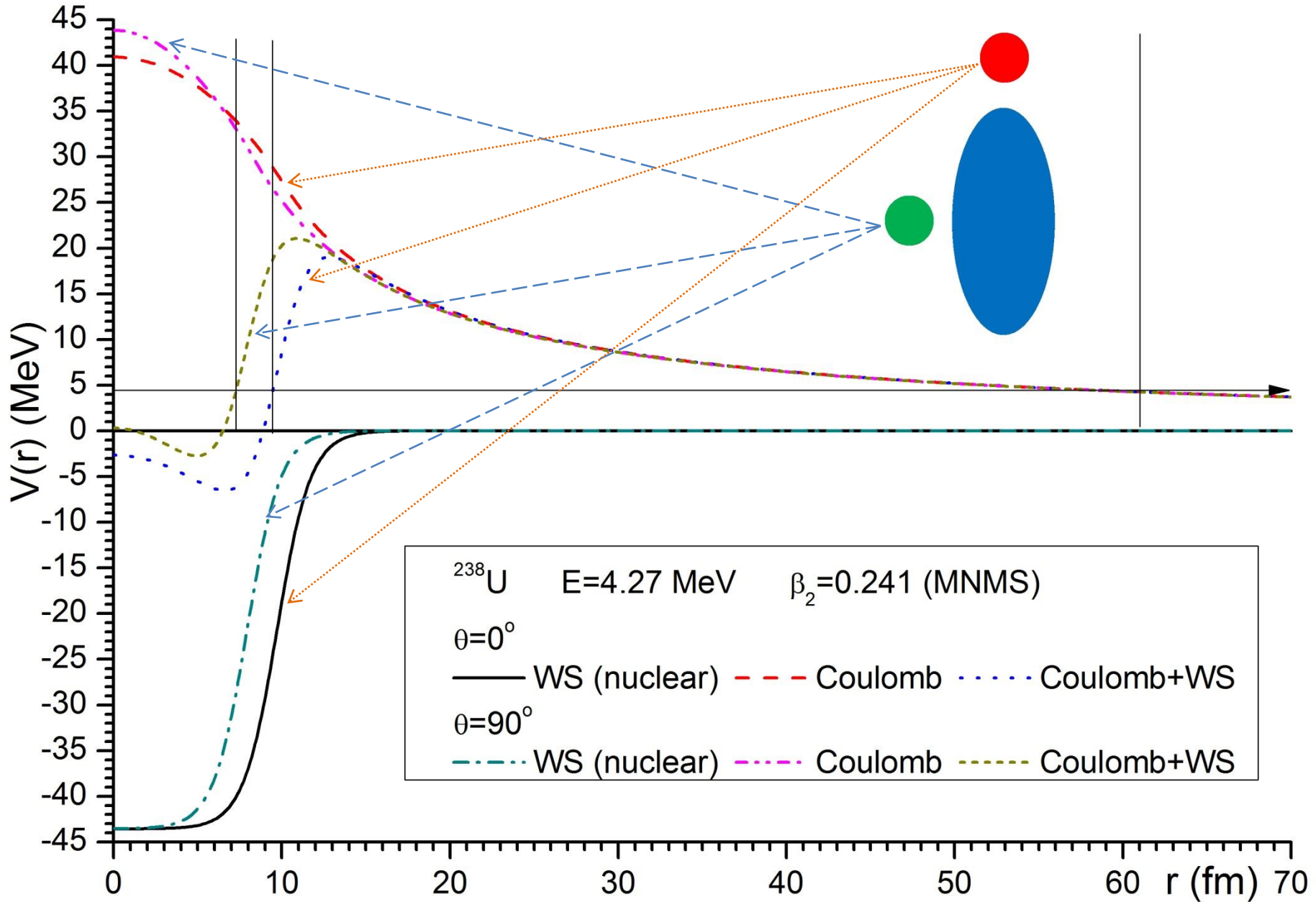
$$v(\theta) = v_C(r, \theta) + v_N(r, \theta) + v_\ell(r)$$

$$v_C(r, \theta) = \begin{cases} \frac{2Ze^2}{r} \left(1 + \frac{3R^2}{5r^2} \beta_2 Y_{20}(\theta) + \frac{3R^4}{9r^4} \beta_4 Y_{40}(\theta) \right), & r \geq r_C(\theta) \\ \frac{2Ze^2}{r_C(\theta)} \left(\frac{3}{2} - \frac{r^2}{2r_C(\theta)^2} + \frac{3R^2}{5r_C(\theta)^2} \beta_2 Y_{20}(\theta) \left(2 - \frac{r^3}{r_C(\theta)^3} \right) + \frac{3R^4}{9r_C(\theta)^4} \beta_4 Y_{40}(\theta) \left(\frac{7}{2} - \frac{5r^2}{2r_C(\theta)^2} \right) \right), & r < r_C(\theta) \end{cases}$$

$$v_N(r, \theta, Q_\alpha) = \frac{V(Q_\alpha)}{1 + \exp \left[(r - r_m(\theta)) / d \right]}$$

$$v_\ell(r) = \frac{\hbar^2 \ell(\ell+1)}{2\mu r^2}$$

Альфа-випромінювання з деформованого ядра



Параметризація ядерної частини потенціалу

$$v_N(r, \theta, Q_\alpha) = \frac{V(Q_\alpha)}{1 + \exp\left[\left(r - r_m(\theta)\right)/d\right]}$$

$$V(Q_\alpha) = v_1 + \frac{v_2 Z}{A^{1/3}} + v_3 \frac{N - Z}{A} + \frac{v_4 Q_\alpha}{A^{1/3}} + \frac{v_5 Y_{20}(\theta) \beta_2}{A^{1/6}}$$

$$r_m(\theta) = r_1 + R\left(1 + \beta_2 Y_{20}(\theta) + \beta_4 Y_{40}(\theta)\right)$$

$$R = r_2 A^{1/3} \left(1 + \frac{r_3}{A} + r_4 \frac{(N - Z)}{A}\right)$$

$$d = d_1 + d_2 A^{-1/3}$$

Частота зіткнення альфа-частинки бар'єром

$$\nu = 19 + S + v_0 \sqrt{Z} A^{1/6} + v_1 (A - 2Z)/A + v_2 Z / \sqrt{Q_\alpha} + v_3 \left((-1)^\ell - 1\right) + v_4 \beta_2 + v_5 \beta_4 + v_6 \ell(\ell + 1) A^{-1/6}$$

Кутовий момент альфа-частинки

$$\left| I_f - I_i \right| \leq \ell_\alpha \leq I_f + I_i$$

Правило відбору парності

$$\frac{\pi_f}{\pi_i} = (-1)^{\ell_\alpha}$$

$$Q_\alpha = B(Z-2, A-4) + B(Z=2, A=4) - B(Z, A).$$

Тут $B(Z, A)$ - енергія зв'язку ядер.

Однак якщо ми використовуємо дефект атомної маси або енергію зв'язку атома B_a (який зазвичай наводиться в таблицях), тому слід враховувати внесок електронної оболонки атома, тому

$$Q_\alpha = B_a(Z-2, A-4) + B_a(Z=2, A=4) - B_a(Z, A) + k[Z^\epsilon - (Z-2)^\epsilon],$$

де kZ^ϵ енергія зв'язку атомної оболонки (атомних електронів),

$k=8.7$ eV та $\epsilon=2.517$ for $Z \geq 60$;

$k=13.6$ eV та $\epsilon=2.408$ for $Z < 60$.

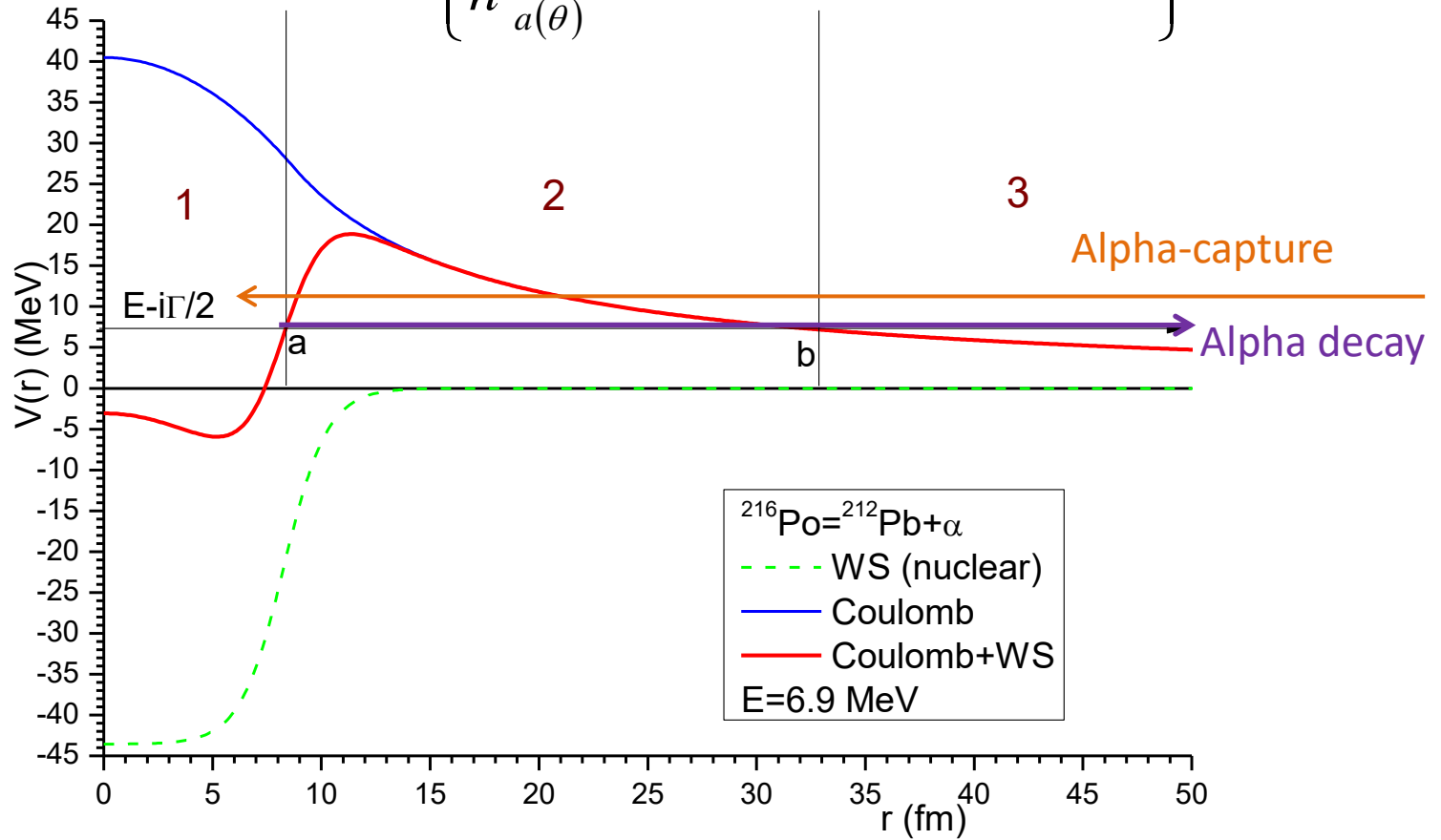
Вплив енергії зв'язку атомних електронів

| Isotope | $T_{1/2}^{\text{exp}}$, s | $T_{1/2}$, s (with screening) | $T_{1/2}$, s (without screening) |
|-------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| ^{180}W | $5,68 \cdot 10^{25}$ | $3,62 \cdot 10^{25}$ | $1,04 \cdot 10^{26}$ |
| ^{145}Pm | $1,99 \cdot 10^{17}$ | $5,68 \cdot 10^{17}$ | $1,14 \cdot 10^{18}$ |
| ^{148}Sm | $2,21 \cdot 10^{23}$ | $5,44 \cdot 10^{23}$ | $1,41 \cdot 10^{24}$ |
| ^{244}Pu | $3,14 \cdot 10^{15}$ | $6,57 \cdot 10^{15}$ | $1,40 \cdot 10^{16}$ |

Поперечний переріз альфа-поглинання

$$\sigma(E) = \frac{\pi \hbar^2}{2\mu E} \int_0^{\pi/2} \sum_{\ell} (2\ell + 1) t(E, \theta, \ell) \sin(\theta) d\theta$$

$$t(E, \theta, \ell) = \frac{1}{1 + \exp \left\{ \frac{2}{\hbar} \int_{a(\theta)}^{b(\theta)} dr \sqrt{2\mu(V(r, \theta, \ell, E) - E)} \right\}}$$



UMADAC

United Model of Alpha-Decay and Alpha-Capture

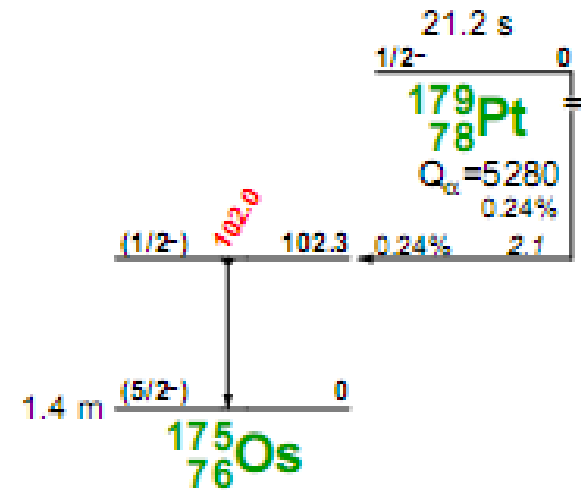
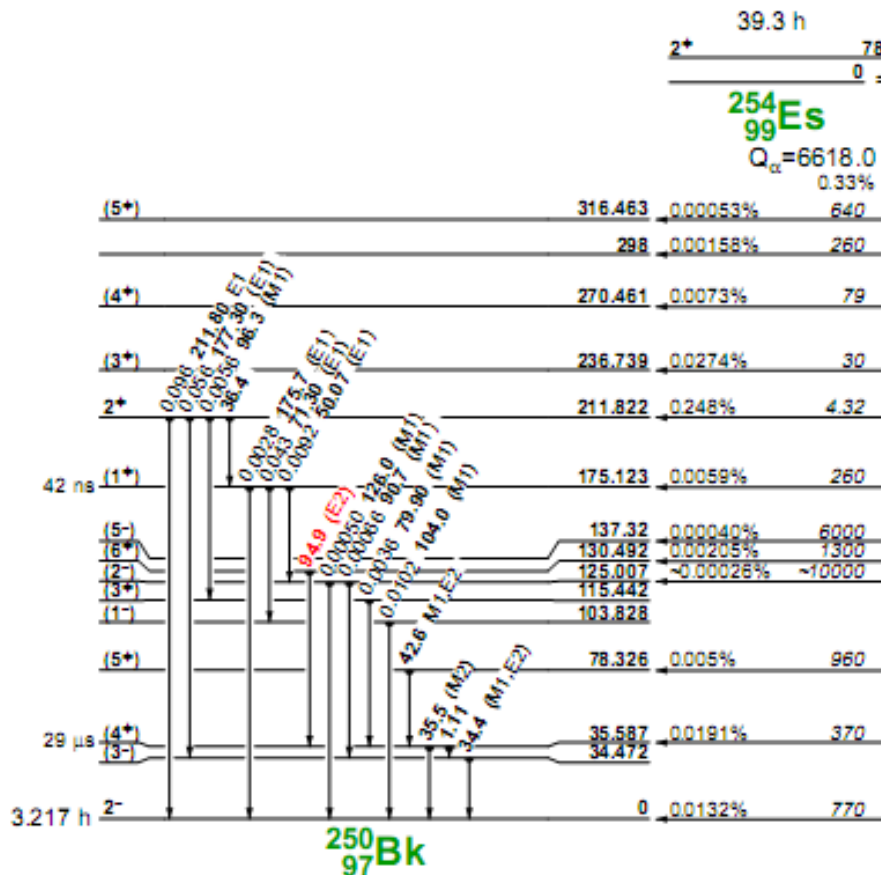
1. V. Yu. Denisov, H. Ikezoe // Phys. Rev. C. – 2005. – Vol. **72**. – P. 064613, 9p
2. V. Yu. Denisov, A. A. Khudenko. Alpha-nucleus interaction potential // At. Data Nucl. Data Tabl. , – 2009. – Vol. **95**. – P. 815-835; Erratum, doi:10.1016/j.adt.2010.12.002.
3. V. Yu. Denisov, A. A. Khudenko. A - decays to ground and excited states of heavy deformed nuclei // Phys. Rev. C. – 2009. – Vol. **80**. – P. 034603, 10p; Erratum, Phys. Rev. C. 82 (2010) 059902(E).
4. V. Yu. Denisov, A. A. Khudenko. Alpha-nucleus interaction potential // Nucl. Phys. At. Energy. – 2008. – №.3 (**25**). – P. 33-38.
5. В.Ю. Денисов, А.А. Худенко. Периоды альфа – распада, сечения альфа – захвата и альфа – ядерное взаимодействие // Известия РАН. – 2010. – Том. **74**. - №. 4. – С. 594 - 598.

UMADAC: ВХІДНІ ДАНІ

- 1 The precise experimental data for the branching ratios, the half-lives, ground state spins and the mass excesses from the **Nubase-2003** and **Nuclear wallet cards (August 2008)** are used.
- 2 The quadrupole and hexadecapole deformations of daughter nuclei are taken into account (the values of the corresponding parameters β_2 and β_4 were mainly extracted from the **RIPL-2 or Möller et al. ADNDT59, 185 (1995)** database).
- 3 **The effect of atomic electrons is taken into account.**
- 4 **344 ground-state-to-ground-state alpha-decay half-lives.**
- 5 The alpha-capture reaction cross-sections of ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{59}Co and $^{40,44}\text{Ca}$ are considered.
- 6 By using 4 and 5 we determine 22 parameters of the UMADAC, related to alpha-nucleus potential (15 parameters) and assault frequency (7 parameters).

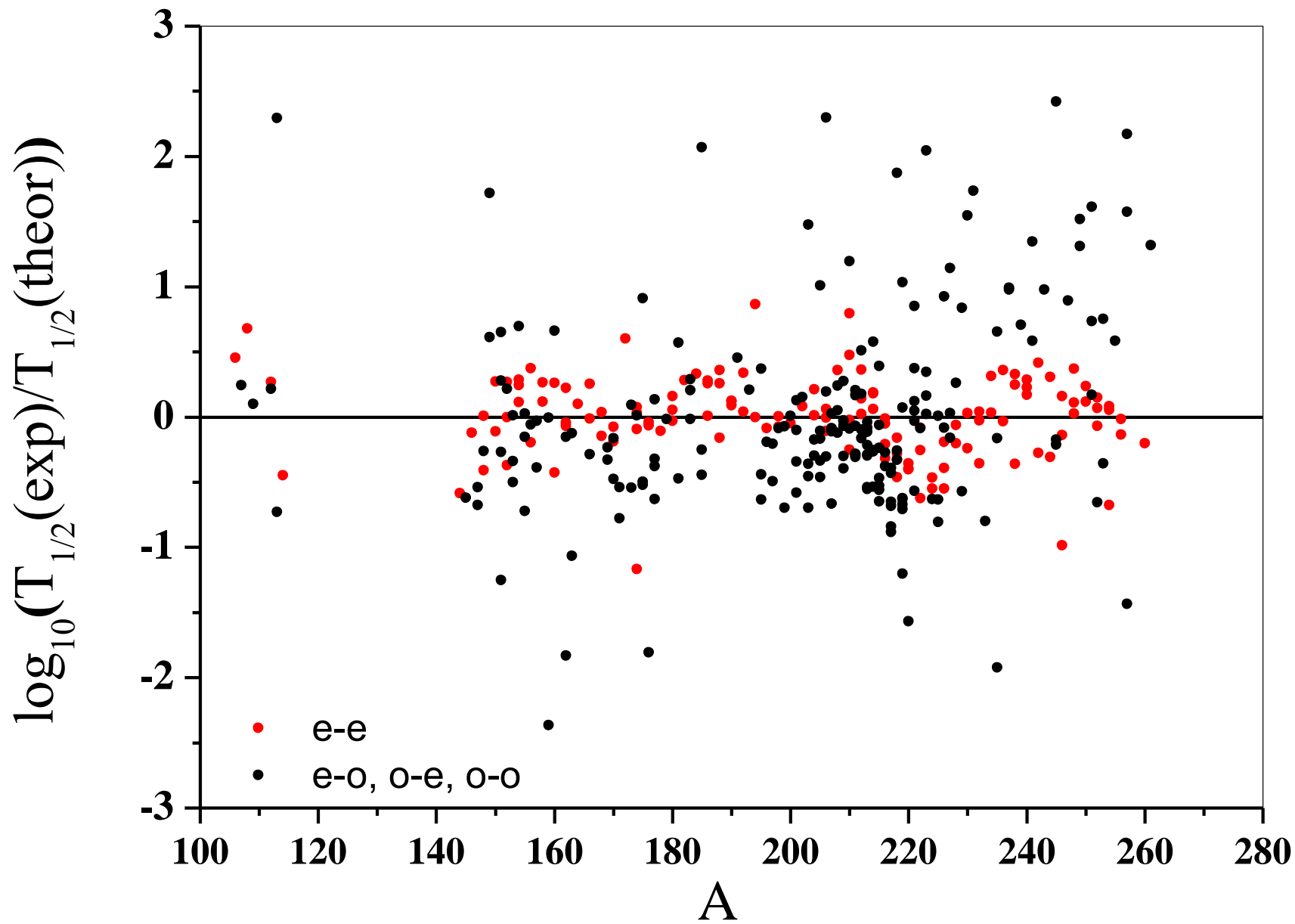
Вхідні дані

Враховано точні експериментальні дані для переходів з основного стану в основний стан в 344 ядрах (коефіцієнти розгалуження, періоди напіврозпаду і надлишки маси взяті з карт Nubase-2003 і Nuclear wallet (11 квітня 2008 р.)).

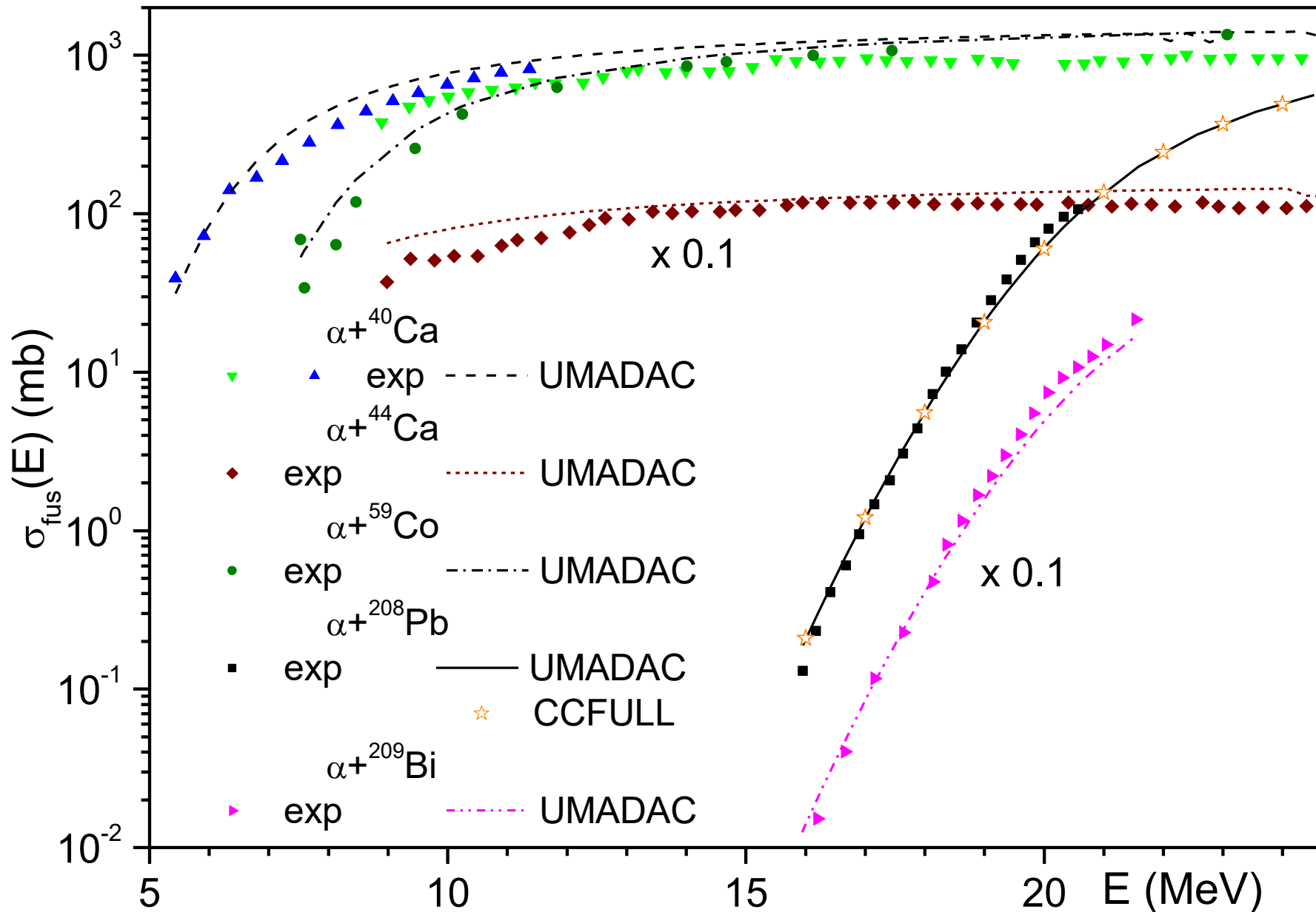


Ядра з $106 \leq A \leq 261$, $52 \leq Z \leq 107$ були розглянуто.

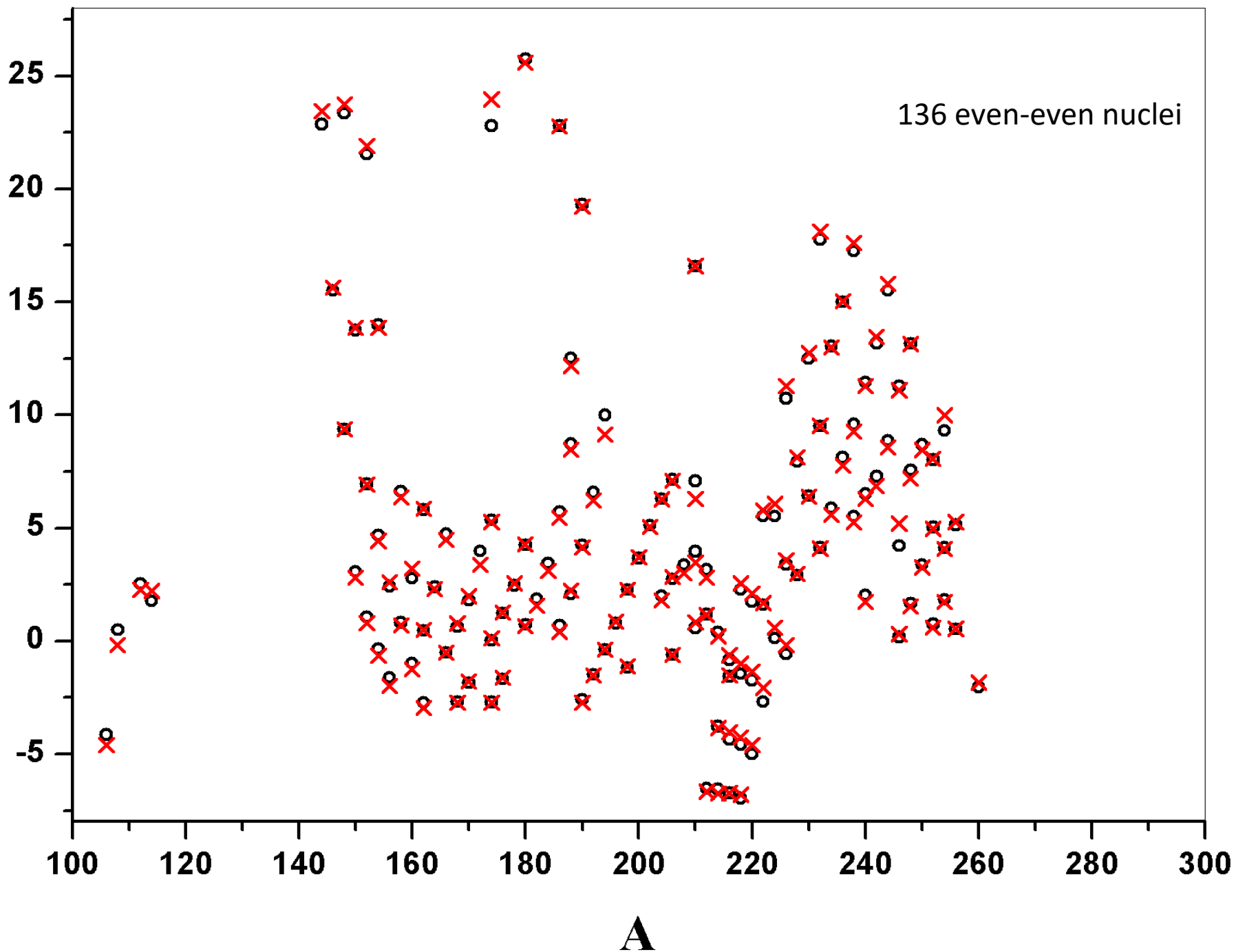
Енергії яльфа-частинки E_α варіюються в діапазоні $1.9 \text{ MeV} \leq E_\alpha \leq 25 \text{ MeV}$.

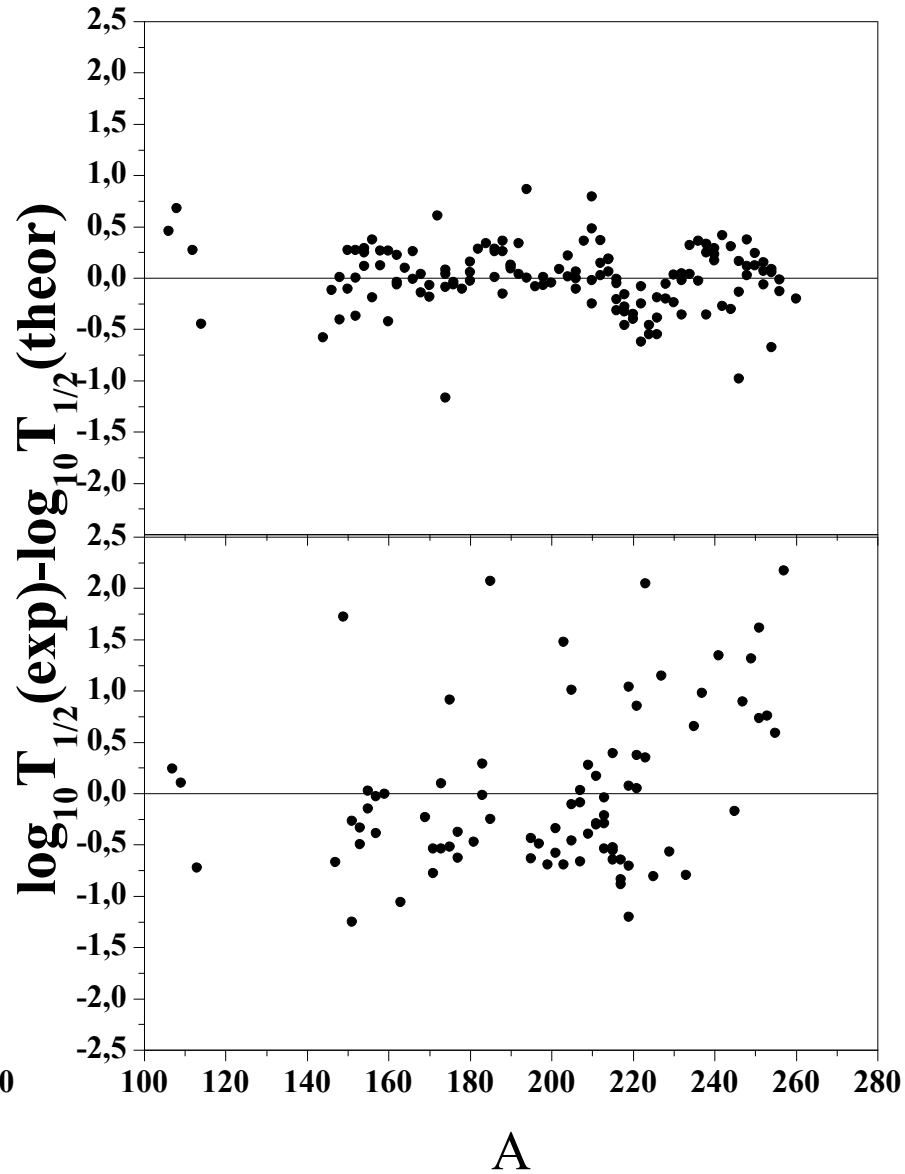
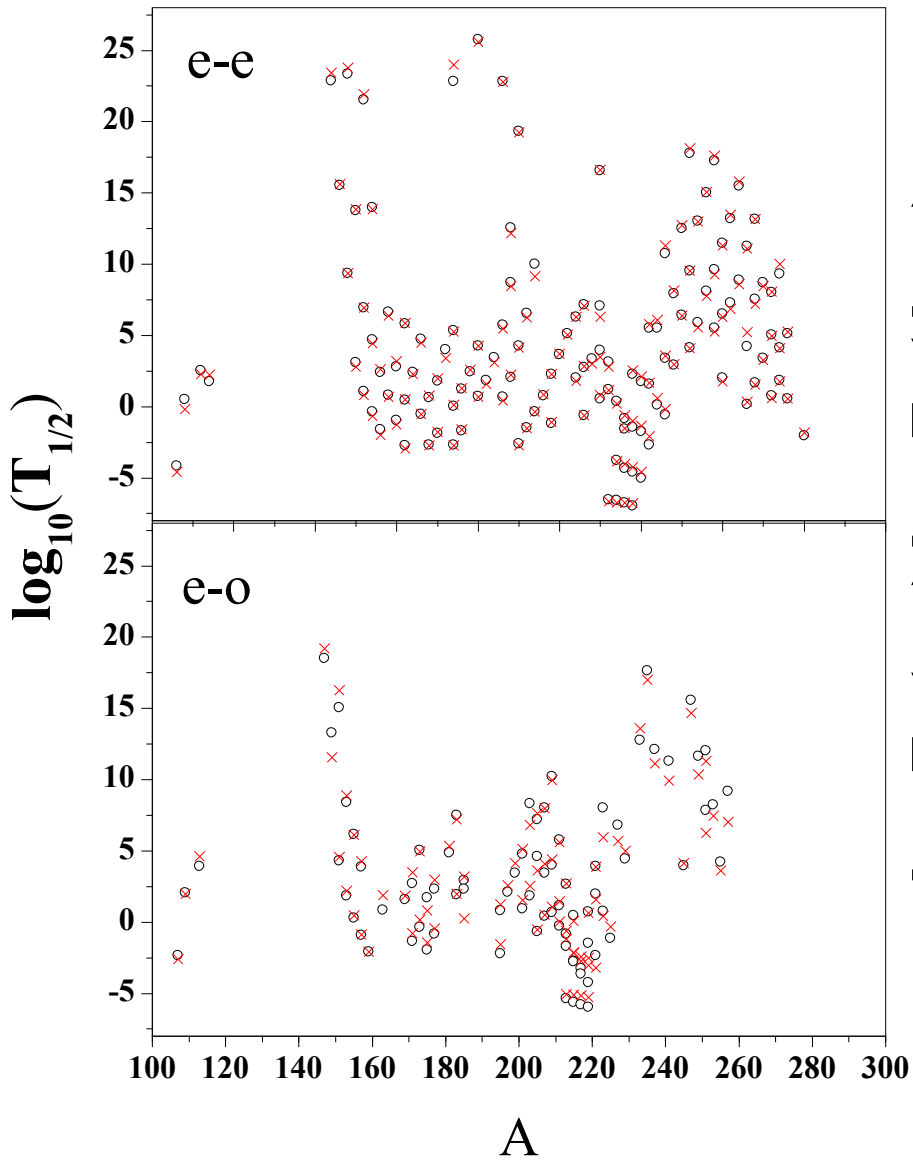


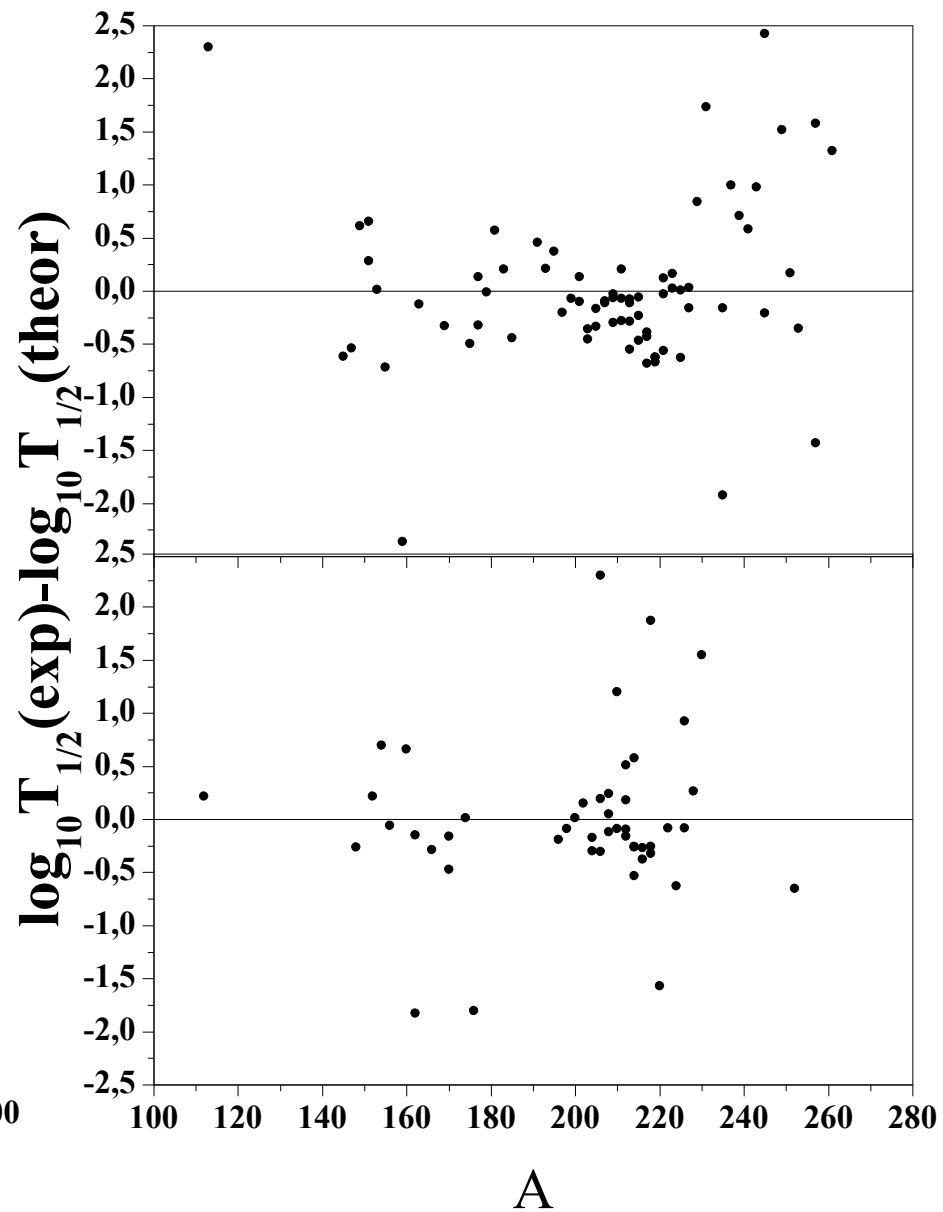
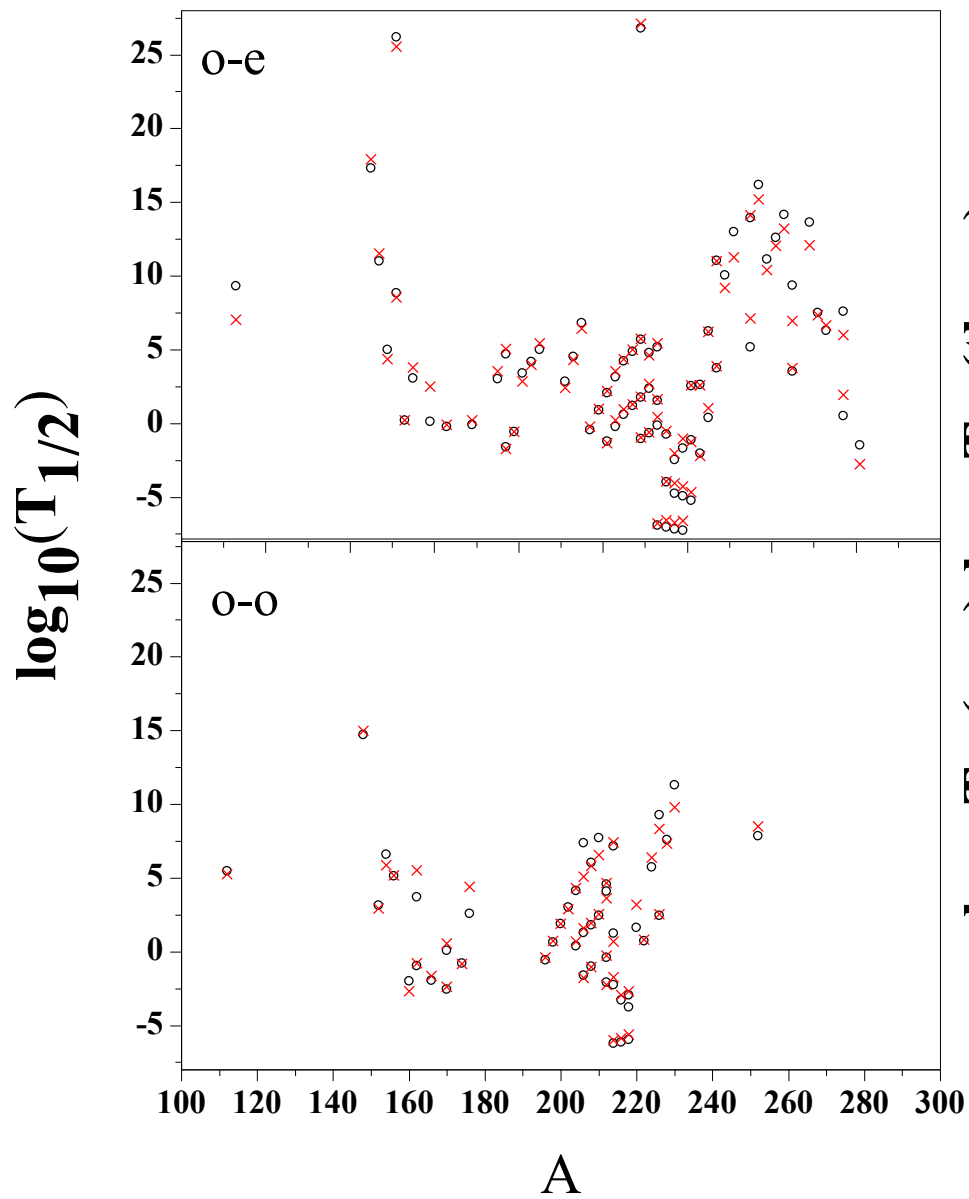
UMADAC: Alpha-Capture Cross Sections



$\log_{10}(T_{1/2}), (T_{1/2}, c)$







RMS errors for alpha-decay half-lives for GS-GS transitions

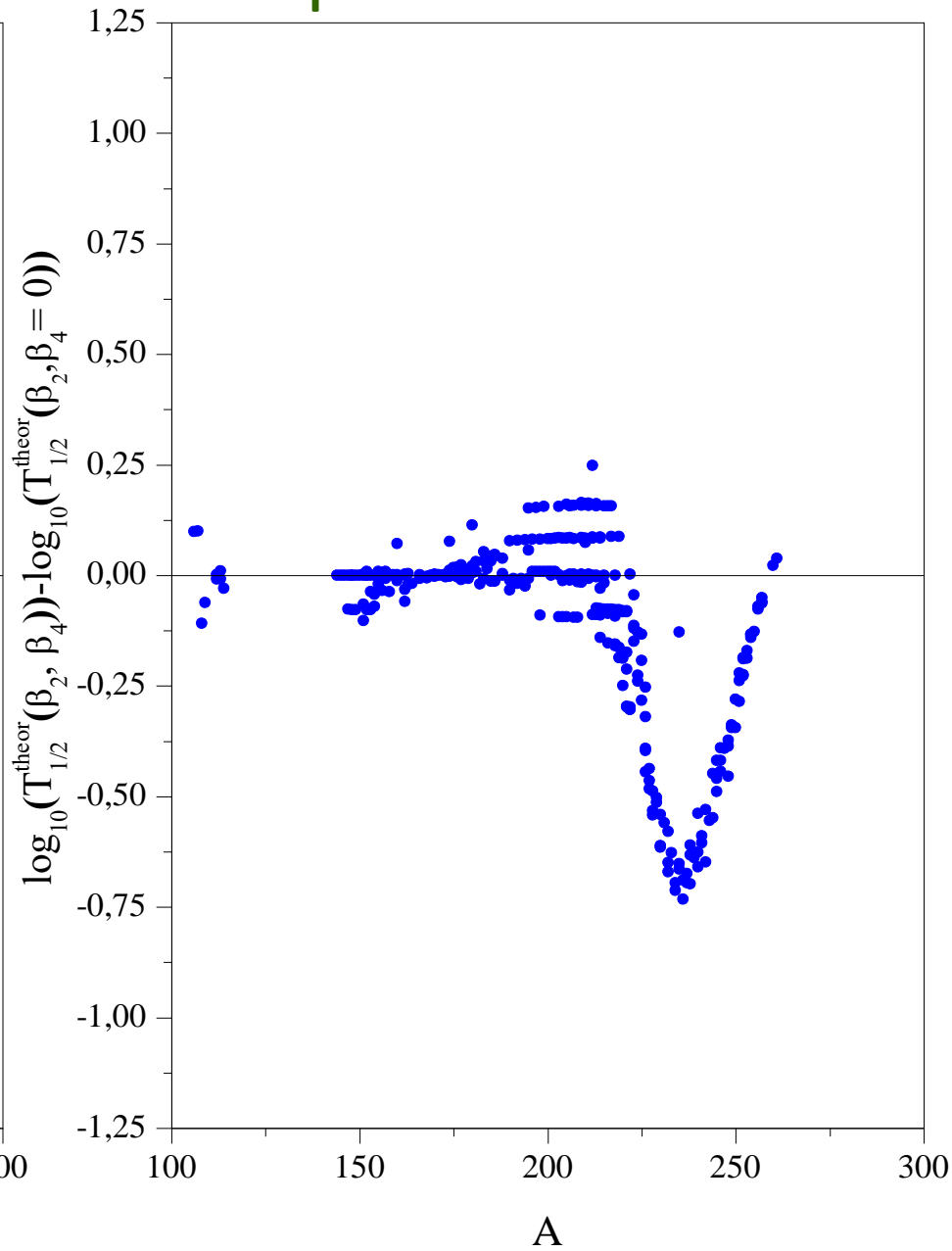
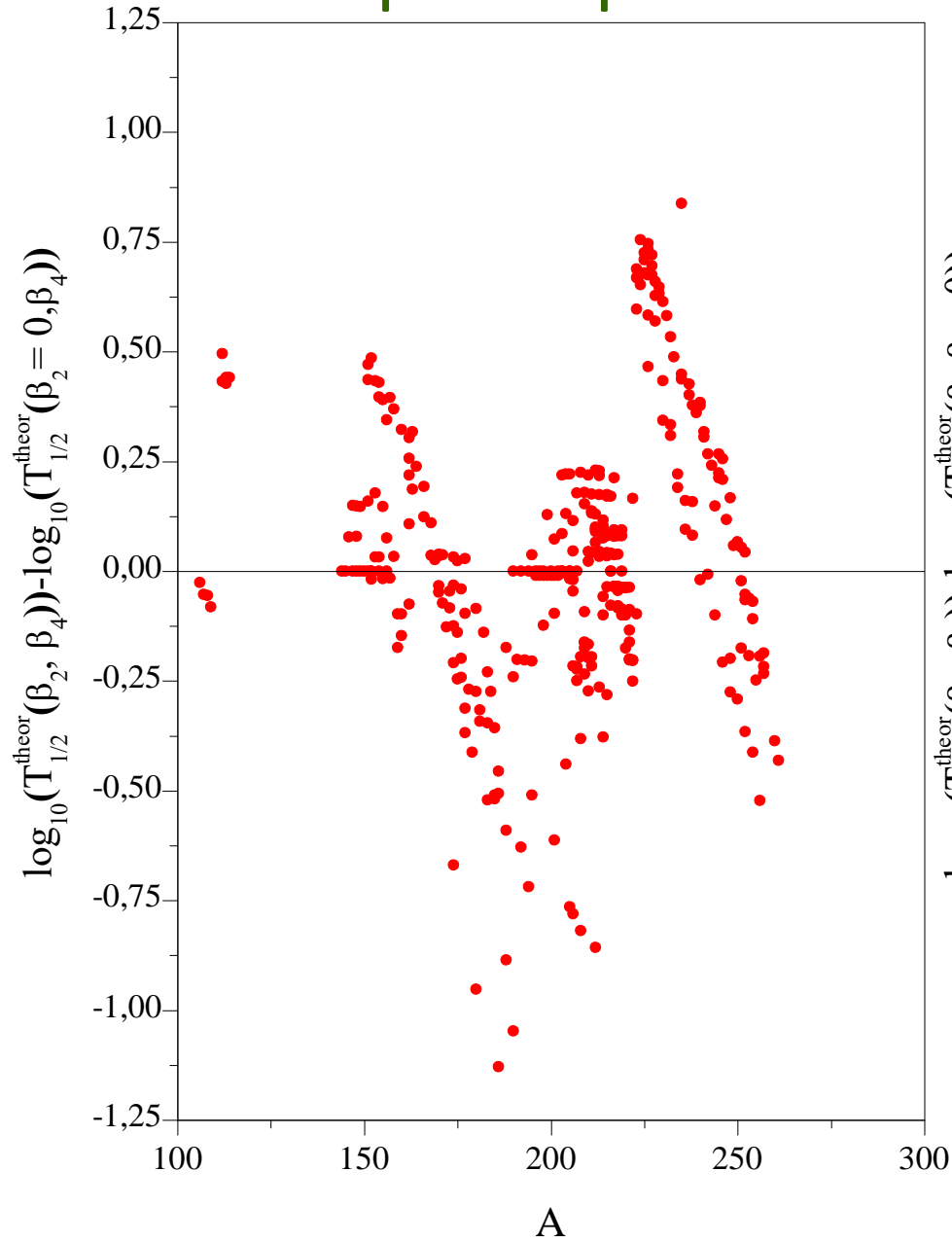
$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N \left[\log_{10} \left(T_{1/2}^{\text{theor}} \right) - \log_{10} \left(T_{1/2}^{\text{exp}} \right) \right]^2}$$

| Total | e-e nuclei | e-o nuclei | o-e nuclei | o-o nuclei | |
|--------|------------|------------|------------|------------|--|
| 0,6199 | 0,2980 | 0,7805 | 0,7613 | 0,7405 | UMADAC |
| 1,0245 | 0,5205 | 1,1661 | 1,3453 | 1,2617 | N. Dasgupta-Schubert, M. A. Reyes, ADNDT 93, 907 (2007). |
| 1,1209 | 0,3922 | 1,4850 | 1,3783 | 1,3426 | R. Moustabchir, G. Royer, Nucl. Phys. A683, 266 (2001). |
| 1,1344 | 0,3652 | 1,5510 | 1,3635 | 1,3390 | E. L. Medeiros, M. M. N. Rodrigues, S. B. Duarte, O. A. P.Tavares, J. Phys.G 32, B23 (2006). |
| 1,3926 | 1,3067 | 1,4389 | 1,5728 | 1,2828 | P. Möller, J. R. Nix, K.-L.Kratz, At. Data Nucl. Data Tabl. 66, 131 (1997). |

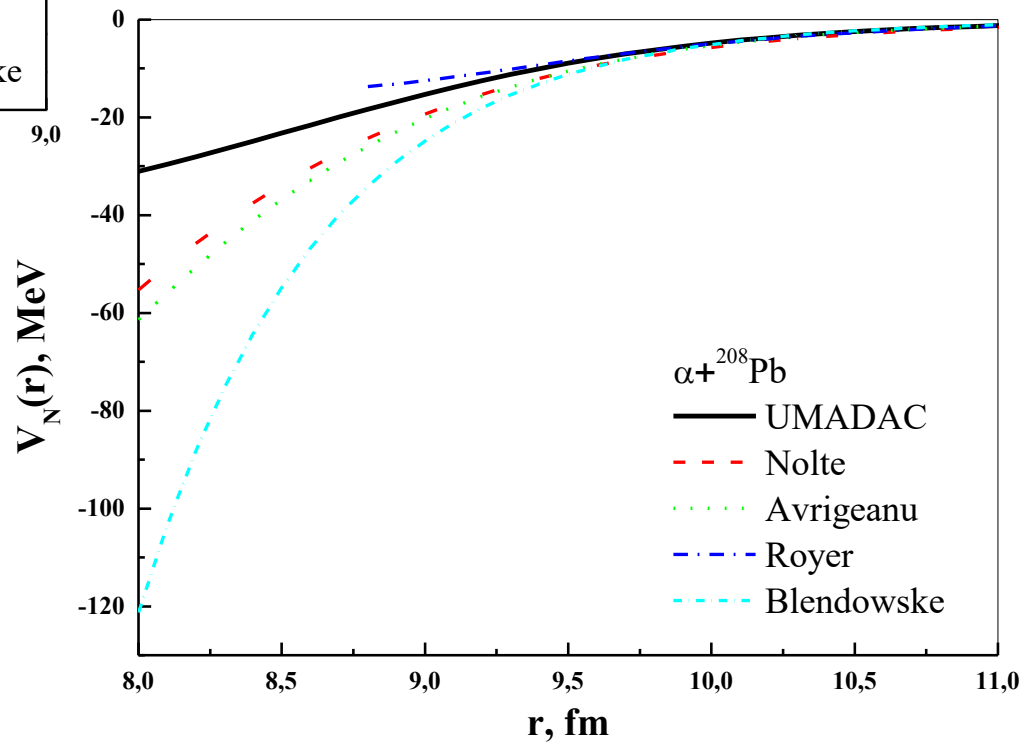
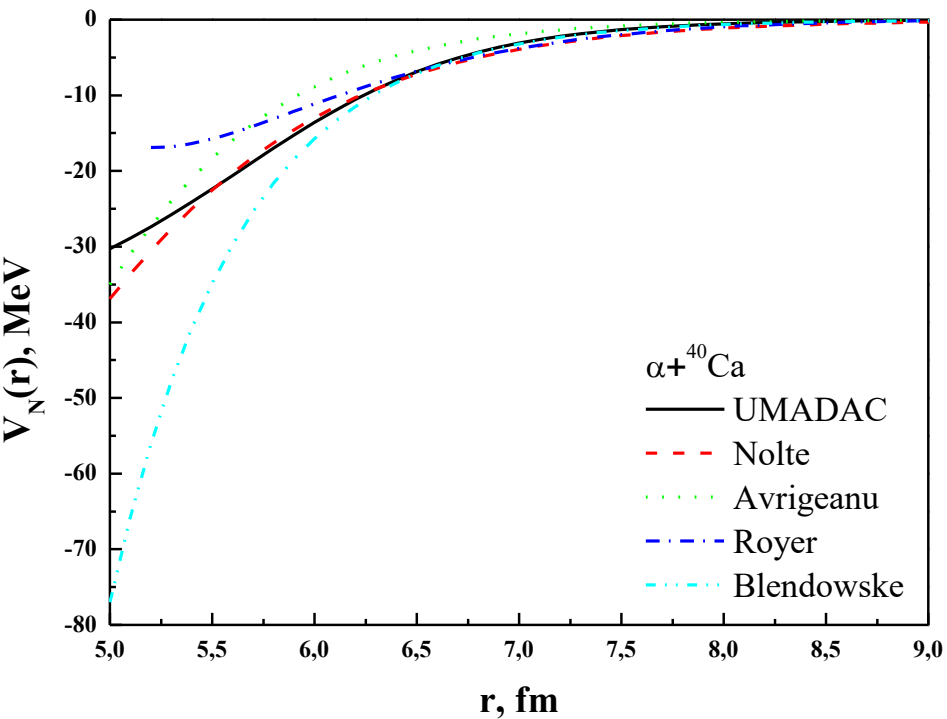
Partial half-lives of GS-GS alpha-transitions and total alpha-decay half-lives

| Nucleus | $T_{1/2}$ | B_{α}^{tot} , % | $T_{1/2}/B_{\alpha}^{\text{tot}}$, s | $B_{\alpha}^{\text{g.s.} \rightarrow \text{g.s.}}$, % | $T_{1/2}/B_{\alpha}^{\text{g.s.} \rightarrow \text{g.s.}}$, s |
|------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| $^{238}_{92}\text{U}$ | $4.468 \cdot 10^9$ y | 100 | $1.413 \cdot 10^{17}$ | 79.00 | $1.785 \cdot 10^{17}$ |
| $^{236}_{94}\text{Pu}$ | 2.858 y | 100 | $9.210 \cdot 10^7$ | 69.26 | $1.302 \cdot 10^8$ |
| $^{181}_{80}\text{Hg}$ | 3.6 s | 31 | 11.6 c | 0.18 | $2.00 \cdot 10^3$ |
| $^{223}_{90}\text{Th}$ | 600 ms | 100 | 0.60 c | 10 | 6.00 |
| $^{241}_{95}\text{Am}$ | 432.2 y | 100 | $1.364 \cdot 10^{10}$ | 0.34 | $4.01 \cdot 10^{12}$ |
| $^{237}_{93}\text{Np}$ | $2.144 \cdot 10^6$ y | 100 | $6.766 \cdot 10^{13}$ | 0.44 | $1.538 \cdot 10^{16}$ |
| $^{220}_{89}\text{Ac}$ | 26.36 ms | 100 | $2.636 \cdot 10^{-2}$ | 3 | 0.879 |
| $^{206}_{85}\text{At}$ | 1836 s | 0.89 | $2.06 \cdot 10^5$ | 0.008 | $2.30 \cdot 10^7$ |
| $^{172}_{77}\text{Ir}$ | 4.4 s | 2 | $2.20 \cdot 10^2$ | 0 | - |
| $^{196}_{83}\text{Bi}$ | 306 s | 0.00115 | $2.66 \cdot 10^7$ | 0 | - |
| $^{210}_{83}\text{Bi}$ | 5.012 d | $1.32 \cdot 10^{-4}$ | $3.281 \cdot 10^{11}$ | 0 | - |

Effects of quadrupole and hexadecapole deformations

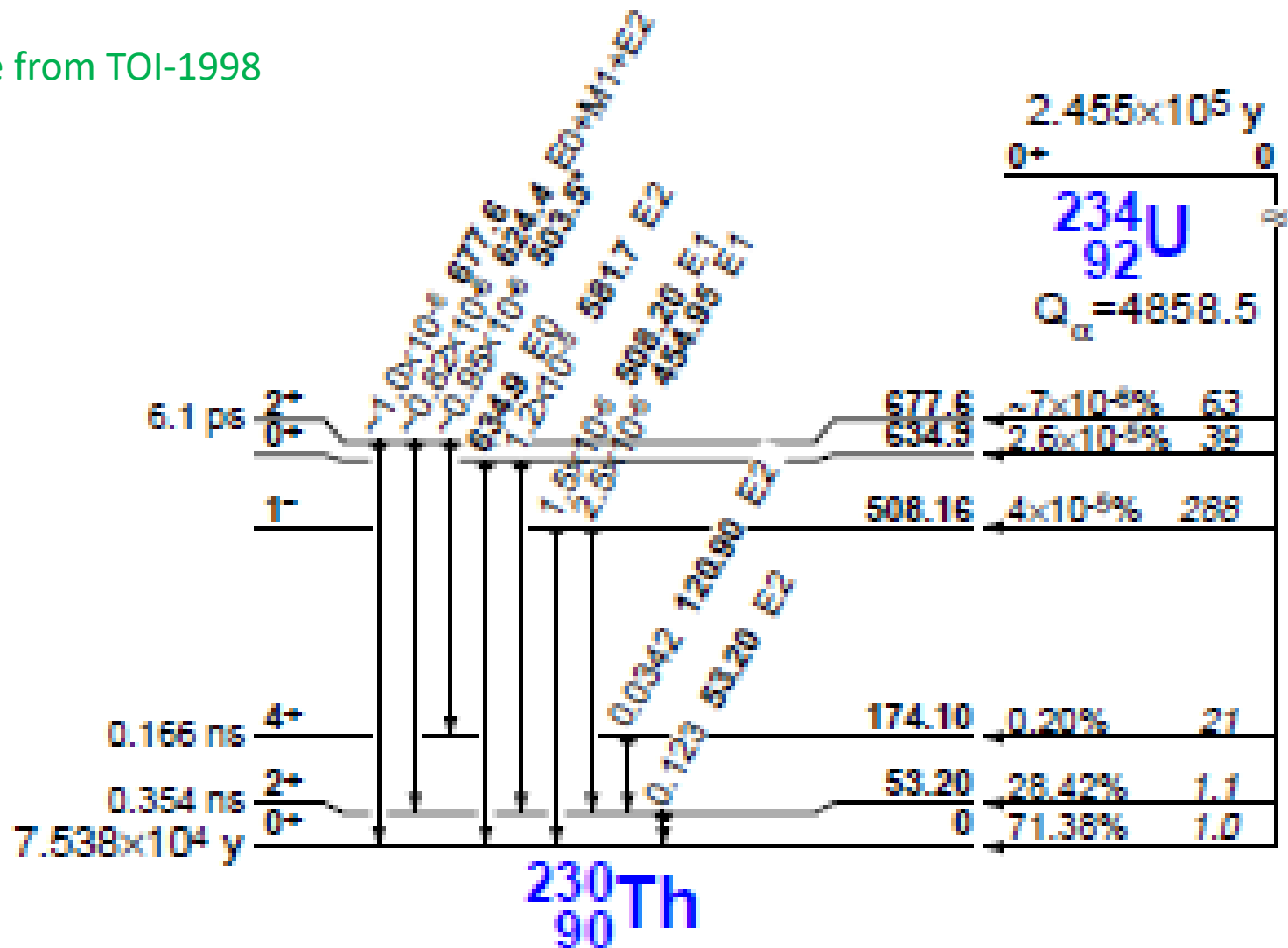


Nuclear part of alpha-nucleus potential, UMADAC



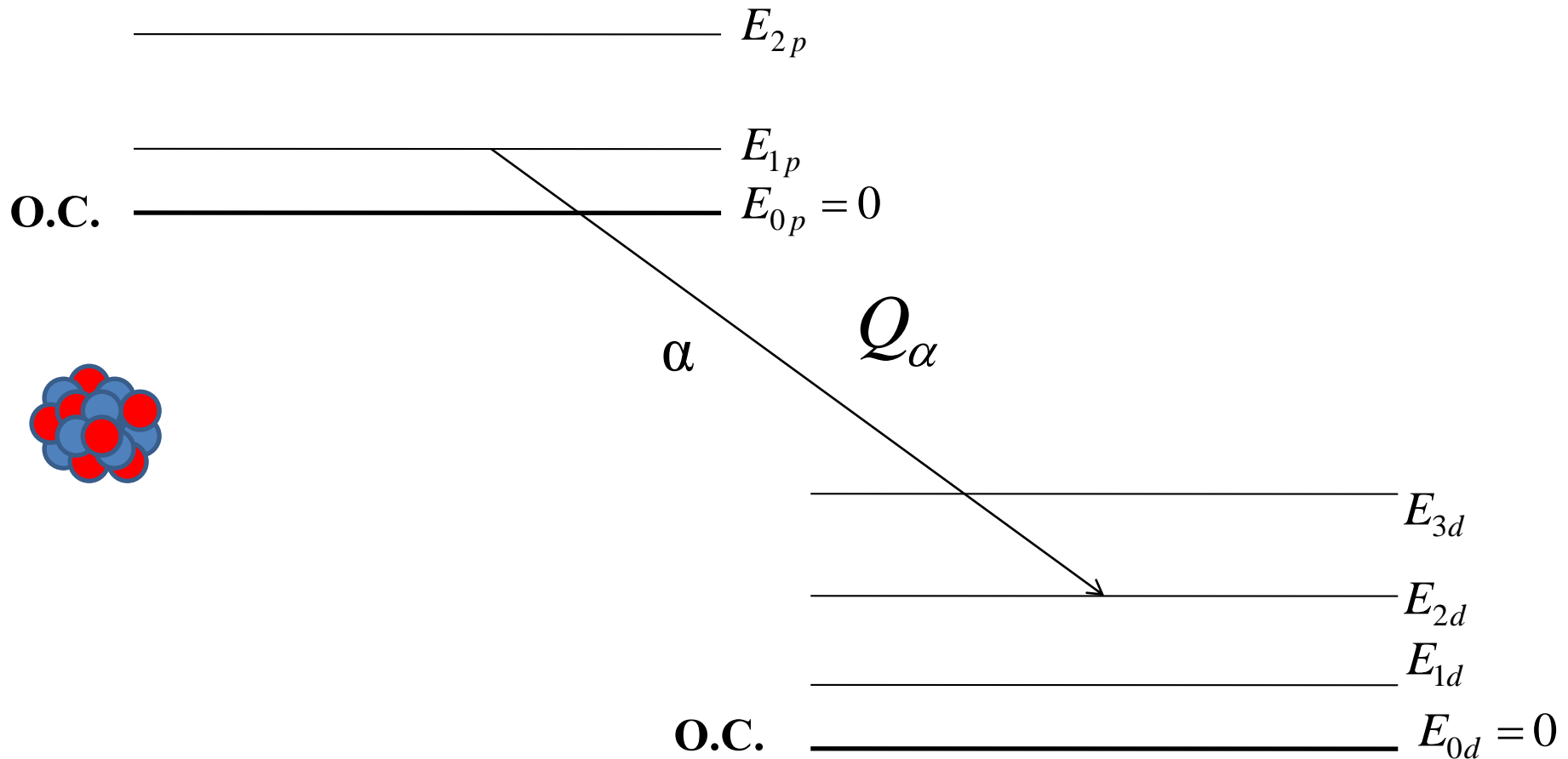
Alpha-decay from ground into ground and excited states

Example from TOI-1998



Alpha-transitions between excited states

$$Q_\alpha = \Delta M_p - (\Delta M_d + \Delta M_\alpha) + k(Z_p^\varepsilon - Z_d^\varepsilon) + E_{ip} - E_{jd}$$



| Transition | Q, MeV | ℓ_{\min} | $B^{\text{theor}}(\%)$ | $B^{\text{exp}}(\%)$ | $T_{1/2}^{\text{exp}}(\text{s})$ | $T_{1/2}^{\text{theor}}(\text{s})$ | HF |
|---|--------|---------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------|------|
| $^{222}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{218}_{86}\text{Rn}$ | | | | | | | |
| $0^+ \rightarrow 0^+$ | 6,717 | 0 | 96,90 | 96,88 | 37,3 | 43,64 | 0,86 |
| $0^+ \rightarrow 2^+$ | 6,393 | 2 | 3,05 | 3,07 | 1,19E3 | 1,38E3 | 0,86 |
| $^{230}_{92}\text{U} \rightarrow ^{226}_{90}\text{Th}$ | | | | | | | |
| $0^+ \rightarrow 0^+$ | 6,034 | 0 | 67,40 | 70,12 | 2,67E6 | 2,63E6 | 1,01 |
| $0^+ \rightarrow 2^+$ | 5,962 | 2 | 32,00 | 25,35 | 5,62E6 | 7,27E6 | 0,77 |
| $^{234}_{92}\text{U} \rightarrow ^{230}_{90}\text{Th}$ | | | | | | | |
| $0^+ \rightarrow 0^+$ | 4,899 | 0 | 71,38 | 72,28 | 1,09E13 | 1,10E13 | 0,99 |
| $0^+ \rightarrow 2^+$ | 4,846 | 2 | 28,42 | 25,49 | 2,73E13 | 3,11E13 | 0,88 |
| $^{236}_{92}\text{U} \rightarrow ^{232}_{90}\text{Th}$ | | | | | | | |
| $0^+ \rightarrow 0^+$ | 4,614 | 0 | 74,00 | 72,72 | 9,99E14 | 1,16E15 | 0,86 |
| $0^+ \rightarrow 2^+$ | 4,565 | 2 | 26,00 | 25,15 | 2,84E15 | 3,36E15 | 0,85 |
| $^{248}_{96}\text{Cm} \rightarrow ^{244}_{94}\text{Pu}$ | | | | | | | |
| $0^+ \rightarrow 0^+$ | 5,205 | 0 | 81,90 | 67,61 | 1,46E13 | 1,38E13 | 1,06 |
| $0^+ \rightarrow 2^+$ | 5,161 | 2 | 18,03 | 28,89 | 6,65E13 | 3,23E13 | 2,06 |

Емпіричні співвідношення для періодів напіврозпаду альфа-розпаду

Geiger-Nettol law (1912): $\log_{10}(T_{1/2}) = aQ^{1/2} + b$

Viola-Seaborg, Möller, Royer, Sobiczewski etc:

$$\log_{10}(T_{1/2}) = (aZ + b)Q^{1/2} + cZ + d + h$$

Open questions:

1. Problem of consistency: Relationship for total half-lives, but Q-value for alpha-transitions are used for GS-GS transitions.
2. Both the orbital momentum and the parity of alpha transitions are ignored.

We propose new empirical relationships for alpha-decay half-lives, which

1. Consider only ground-state-to-ground-state alpha-transitions (consistency between energy of transition and the partial half-life);
2. Take into account the spins and parities initial and final states;
3. Consider even-even, even-odd, odd-even, odd-odd nuclei separately;
4. Dedicate to full range ($Z>50, N>100$) of nuclei;
5. Dedicate to range of heavy ($Z>82, N>126$) of nuclei;
6. Dedicate to range of (rest of nuclei) of nuclei;

1. V. Yu. Denisov, A. A. Khudenko. Alpha – decay half-lives: Empirical relations // Phys. Rev. C. – 2009. – Vol. **79**. – P. 054614, 5p; Erratum, Phys. Rev. C. 82 (2010) 059901(E).
2. В.Ю. Денисов, О.О. Худенко. Емпіричні співвідношення для періодів альфа-розпаду // Укр. Фіз. Журн. – 2009. – Т. **54**, №11. – С.1074-1077.

Empirical relationship for total range of nuclei

$$\log_{10}(T_{1/2}^{e-e}) = -26.1721 - 1.1549 \frac{A^{1/6} Z^{1/2}}{\mu} + \frac{1.6088 Z}{\sqrt{Q}}$$

$$\log_{10}(T_{1/2}^{e-o}) = -30.2365 - 1.0726 \frac{A^{1/6} Z^{1/2}}{\mu} + \frac{1.6910 Z}{\sqrt{Q}} + \frac{0.7198 \sqrt{\ell(\ell+1)}}{Q} \sqrt[6]{A} - 0.6965((-1)^\ell - 1)$$

$$\log_{10}(T_{1/2}^{o-e}) = -30.0842 - 1.0853 \frac{A^{1/6} Z^{1/2}}{\mu} + \frac{1.6925 Z}{\sqrt{Q}} + \frac{0.2453 \sqrt{\ell(\ell+1)}}{Q} \sqrt[6]{A} - 0.6406((-1)^\ell - 1)$$

$$\log_{10}(T_{1/2}^{o-o}) = -30.8222 - 0.9874 \frac{A^{1/6} Z^{1/2}}{\mu} + \frac{1.6577 Z}{\sqrt{Q}} + \frac{0.5893 \sqrt{\ell(\ell+1)}}{Q} \sqrt[6]{A} - 0.2914((-1)^\ell - 1)$$

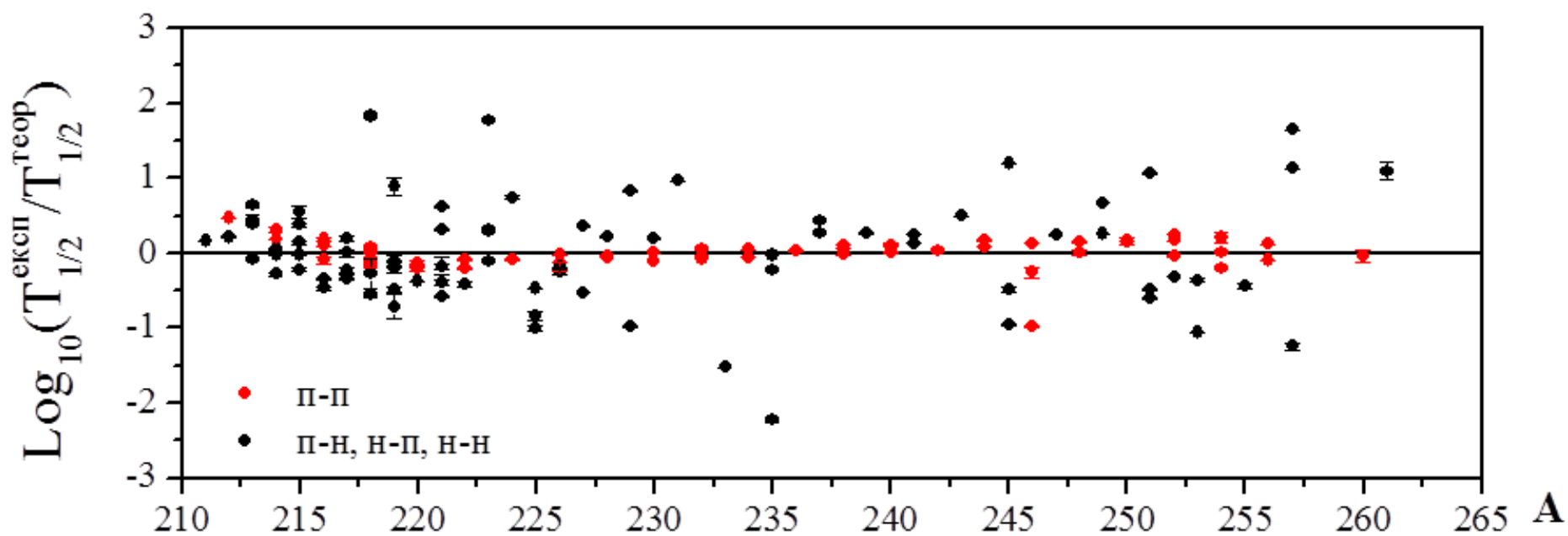
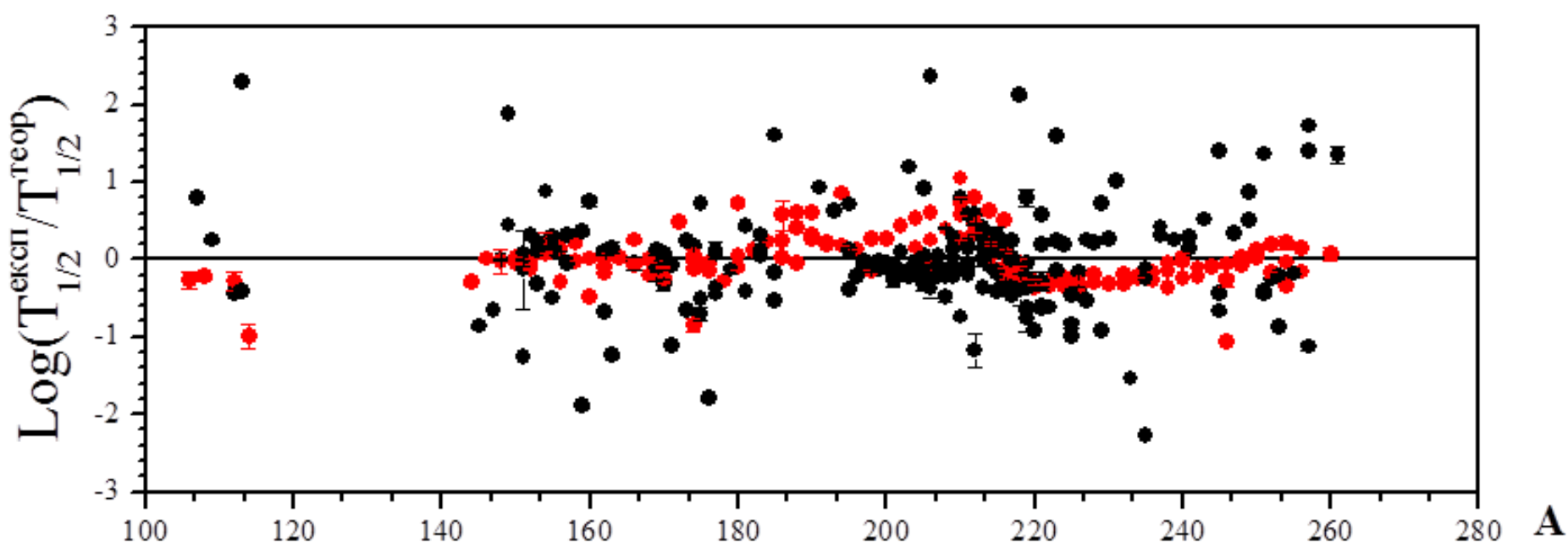
RMS errors for total range of nuclei

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N \left[\log_{10} \left(T_{1/2}^{\text{theor}} \right) - \log_{10} \left(T_{1/2}^{\text{exp}} \right) \right]^2}$$

| Total | E-E | E-O | O-E | O-O | |
|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| 0.5488 | 0.3308 | 0.6177 | 0.6772 | 0.6916 | Empirical relationships for total range of nuclei |
| 0.6199 | 0.2980 | 0.7805 | 0.7613 | 0.7405 | UMADAC |
| 1.0146 | 0.4225 | 1.3585 | 1.2624 | 1.0940 | D. N. Poenaru, I.-H. Plonski, W. Greiner, Phys. Rev. C 74, 014312 (2006). |
| 1.0245 | 0.5205 | 1.1661 | 1.3453 | 1.2617 | N. Dasgupta-Schubert, M. A. Reyes, At. Data and Nucl. Data Tabl. 93, 907 (2007). |
| 1.1209 | 0.3922 | 1.4850 | 1.3783 | 1.3426 | R. Moustabchir, G. Royer, Nucl. Phys. A683, 266 (2001). |
| 1.1344 | 0.3652 | 1.5510 | 1.3635 | 1.3390 | E. L. Medeiros, M. M. N. Rodrigues, S. B. Duarte, O. A. P. Tavares, J. Phys.G 32, B23 (2006). |
| 1.3926 | 1.3067 | 1.4389 | 1.5728 | 1.2828 | P. Möller, J. R. Nix, K.-L.Kratz, At. Data Nucl. Data Tabl. 66, 131 (1997). |

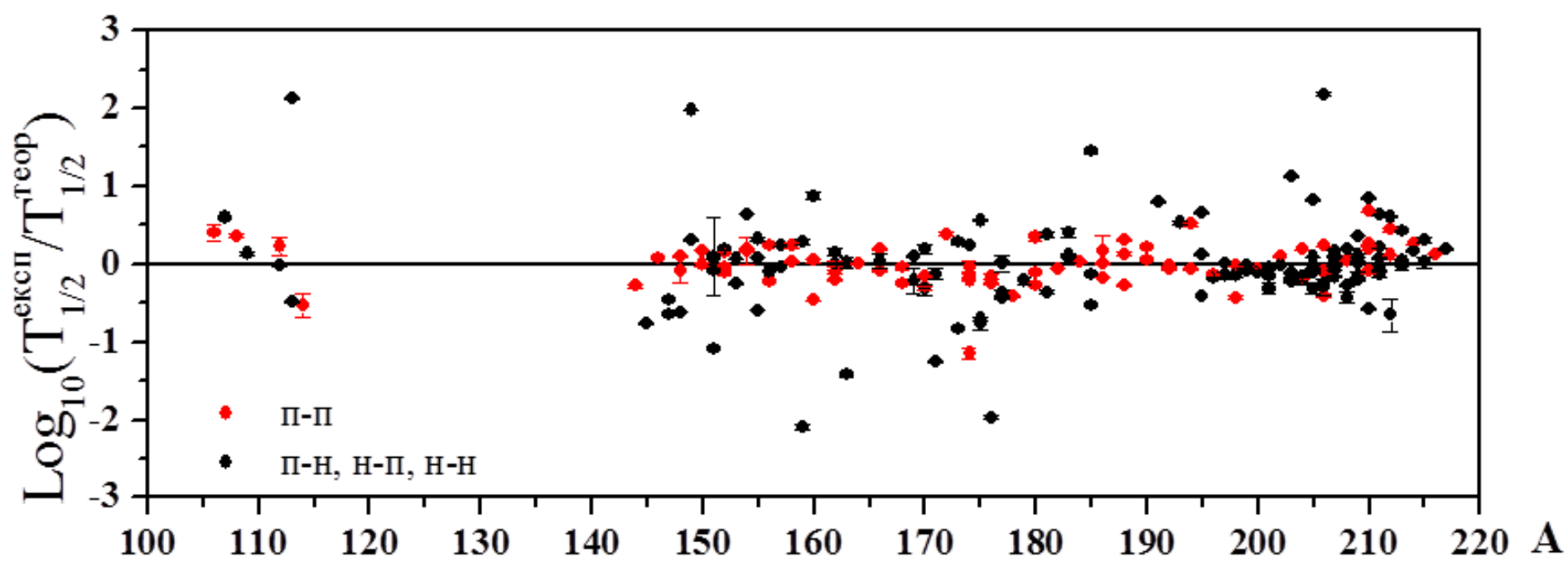
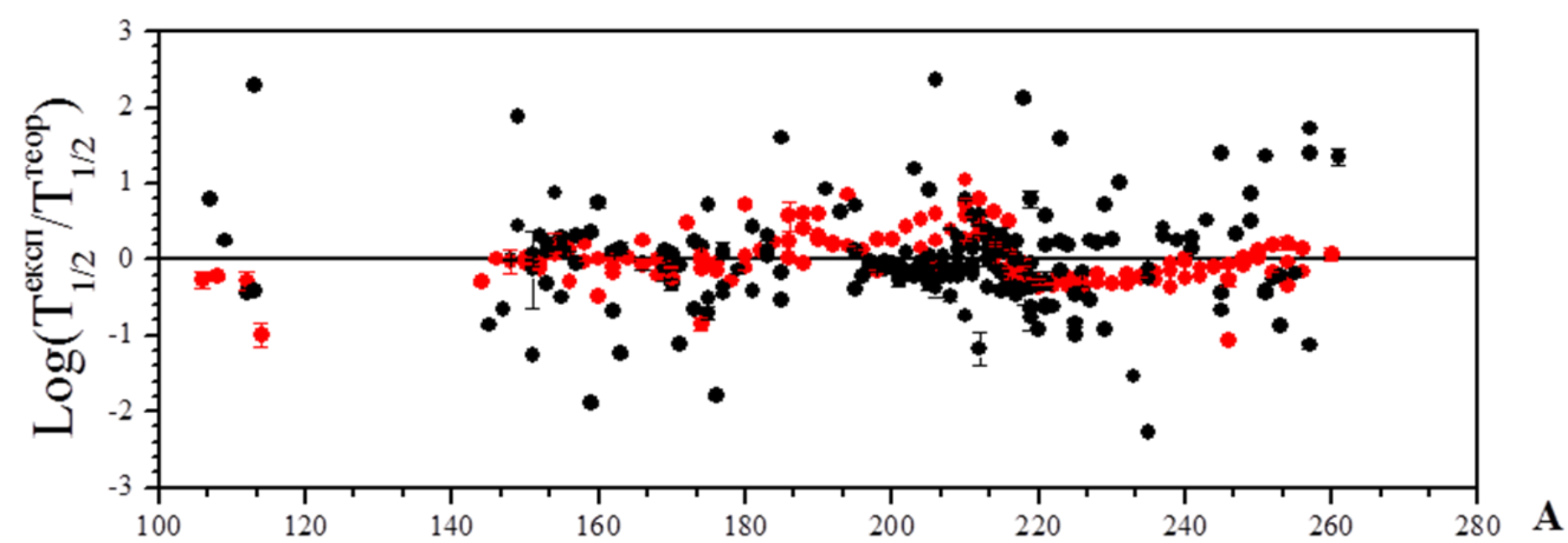
RMS errors for range of heavy nuclei ($Z > 82$, $N > 126$)

| total | E-E | E-O | O-E | O-O | |
|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| 0.5291 | 0.1907 | 0.6610 | 0.7590 | 0.5388 | Empirical relationship for range of heavy nuclei |
| 0.7094 | 0.3001 | 0.9542 | 0.9110 | 0.7753 | UMADAC |
| 1.2408 | 0.2970 | 1.8106 | 1.4845 | 1.4833 | P. Möller, J. R. Nix, K.-L.Kratz, At. Data Nucl. Data Tabl. 66, 131 (1997). |
| 1.2591 | 0.3894 | 1.6645 | 1.5171 | 1.7708 | N. Dasgupta-Schubert, M. A. Reyes, At. Data and Nucl. Data Tabl. 93, 907 (2007). |
| 1.2607 | 0.2686 | 1.9108 | 1.5780 | 1.1897 | D. N. Poenaru, I.-H. Plonski, W. Greiner, Phys. Rev. C 74, 014312 (2006). |
| 1.3500 | 0.3188 | 2.0332 | 1.6298 | 1.4300 | A. Sobiczewski, A. Parkhomenko, Phys. At. Nucl. 69, 1155 (2006). |
| 1.4484 | 0.2250 | 2.1482 | 1.6657 | 1.8440 | R. Moustabchir, G. Royer, Nucl. Phys. A683, 266 (2001). |
| 1.5002 | 0.3579 | 2.2642 | 1.6775 | 1.8392 | E. L. Medeiros, M. M. N. Rodrigues, S. B. Duarte, O. A. P. Tavares, J. Phys.G 32, B23 (2006). |
| 1.7017 | 0.2271 | 2.5168 | 1.9323 | 2.2389 | M. Gupta, T.W. Burrows, Nucl. Data Sheets 106, 251 (2005). |



RMS errors for range of light nuclei

| | Total | E-E | E-O | O-E | O-O |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Empirical relationship for range of light nuclei | 0.4955 | 0.2674 | 0.5767 | 0.5834 | 0.6653 |
| E. L. Medeiros, M. M. N. Rodrigues, S. B. Duarte, O. A. P. Tavares, J. Phys.G 32, B23 (2006). | 0.7750 | 0.3731 | 0.8440 | 1.0658 | 0.9606 |
| Royer G., Zhang H.F. Phys. Rev. C 77 037602 (2008) | 0.8114 | 0.4843 | 0.8408 | 1.1144 | 0.9635 |
| N. Dasgupta-Schubert, M.A. Reyes. ADNDT 93 (2007) 907-930. | 0.8184 | 0.6046 | 0.6957 | 1.2076 | 0.8613 |
| P. Möller, J. R. Nix, K.-L.Kratz, At. Data Nucl. Data Tabl. 66, 131 (1997). | 1.4955 | 1.7221 | 1.1570 | 1.6586 | 1.1735 |



APPLICATIONS

- It is found many nature nuclei, which are marked as stable now, however they have finite alpha-decay half-lives, which we evaluated.
- Alpha-decay half-lives are evaluated for nuclei (902) with $Q_\alpha > 0$
- Cases of poorly evaluated alpha-decay half-lives are discussed.
- ^{208}Pb alpha-decay half-life:

| $T_{1/2}$ | References |
|---------------------------------|---|
| $1.44 \cdot 10^{126} \text{ s}$ | Denisov V. Yu., Khudenko A. A. // Phys. Rev. C. – 2009. – Vol. 79. – P. 054614 |
| $\sim 10^{125} \text{ s}$ | Moustabchir R., Royer G. // Nucl. Phys. A. – 2001. – Vol. 683. – P.266-278. |
| $4.77 \cdot 10^{119} \text{ s}$ | Dasgupta-Schubert N., Reyes M. A. // At. Data and Nucl. Data Tabl. – 2007. – Vol. 93. – P. 907-930. |
| $3.66 \cdot 10^{121} \text{ s}$ | Möller P., Nix J. R., Kratz K.-L. // At. Data Nucl. Data Tabl. – 1997. – Vol. 66. – P. 131-343. |
| $5.54 \cdot 10^{129} \text{ s}$ | Medeiros E. L., Rodrigues M. M. N., Duarte S. B., Tavares O. A. P. // J. Phys.G. – 2006. – Vol. 32. – P. B23-B30. |

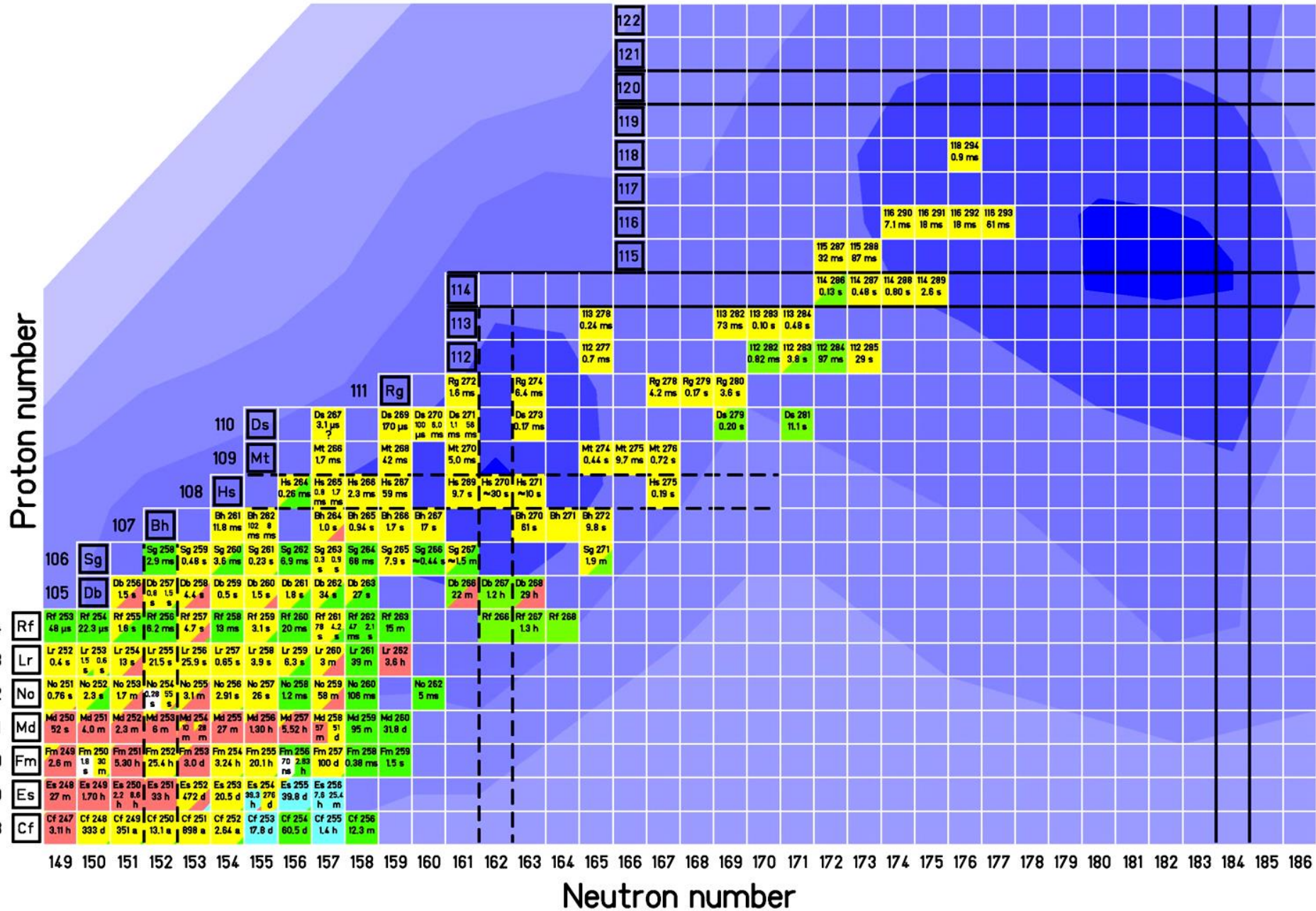
Alpha-emitters considered as natural stable nuclei with $T_{1/2} < 10^{37}$ sec. ($T_{1/2}$ in seconds)

| Isotope | Abund., % | ℓ_a | Q, MeV | $T_{1/2}$ Exp | $T_{1/2}$ UMADAC | $T_{1/2}$ Emp Rel Total | $T_{1/2}$ Royer | $T_{1/2}$ Dasgupta- Schubert | $T_{1/2}$ Möller | $T_{1/2}$ Medeiros |
|---------|--------------|----------|--------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 142Ce | 11.114 | 0 | 1,3177 | $>1,58 \cdot 10^{24}$ | $6,94 \cdot 10^{35}$ | $1,35 \cdot 10^{35}$ | $4,15 \cdot 10^{34}$ | $9,27 \cdot 10^{33}$ | $8,04 \cdot 10^{30}$ | $5,50 \cdot 10^{35}$ |
| 145Nd | 8.300 | 0 | 1,5984 | — | $1,03 \cdot 10^{31}$ | $1,15 \cdot 10^{31}$ | $1,91 \cdot 10^{29}$ | $2,77 \cdot 10^{29}$ | $1,41 \cdot 10^{27}$ | $2,01 \cdot 10^{30}$ |
| 149Sm | 13.820 | 0 | 1,8926 | $>6,13 \cdot 10^{22}$ | $3,37 \cdot 10^{26}$ | $4,10 \cdot 10^{26}$ | $1,22 \cdot 10^{25}$ | $1,93 \cdot 10^{25}$ | $2,08 \cdot 10^{23}$ | $9,08 \cdot 10^{25}$ |
| 150Sm | 7.380 | 0 | 1,4714 | — | $9,70 \cdot 10^{35}$ | $1,58 \cdot 10^{35}$ | $4,67 \cdot 10^{34}$ | $9,12 \cdot 10^{33}$ | $2,94 \cdot 10^{31}$ | $6,84 \cdot 10^{35}$ |
| 156Dy | 0.060 | 0 | 1,7839 | $>3,16 \cdot 10^{25}$ | $2,18 \cdot 10^{32}$ | $4,54 \cdot 10^{31}$ | $1,45 \cdot 10^{31}$ | $3,47 \cdot 10^{30}$ | $3,03 \cdot 10^{28}$ | $1,64 \cdot 10^{32}$ |
| 162Er | 0.140 | 0 | 1,6698 | $>4,42 \cdot 10^{21}$ | $6,91 \cdot 10^{36}$ | $2,24 \cdot 10^{36}$ | $6,03 \cdot 10^{35}$ | $8,80 \cdot 10^{34}$ | $1,56 \cdot 10^{33}$ | $1,05 \cdot 10^{37}$ |
| 168Yb | 0.130 | 0 | 1,9771 | $>4,10 \cdot 10^{21}$ | $5,64 \cdot 10^{31}$ | $2,09 \cdot 10^{31}$ | $6,49 \cdot 10^{30}$ | $1,40 \cdot 10^{30}$ | $4,03 \cdot 10^{28}$ | $7,83 \cdot 10^{31}$ |
| 170Yb | 3.040 | 0 | 1,7647 | — | $4,24 \cdot 10^{36}$ | $9,08 \cdot 10^{35}$ | $2,43 \cdot 10^{35}$ | $3,41 \cdot 10^{34}$ | $1,22 \cdot 10^{33}$ | $4,45 \cdot 10^{36}$ |
| 176Hf | 5.260 | 0 | 2,2861 | — | $6,14 \cdot 10^{27}$ | $2,15 \cdot 10^{27}$ | $7,48 \cdot 10^{26}$ | $2,15 \cdot 10^{26}$ | $1,07 \cdot 10^{25}$ | $6,98 \cdot 10^{27}$ |
| 177Hf | 18.600 | 2 | 2,2700 | — | $8,25 \cdot 10^{28}$ | $8,49 \cdot 10^{30}$ | $1,78 \cdot 10^{27}$ | $4,03 \cdot 10^{27}$ | $2,26 \cdot 10^{26}$ | $1,27 \cdot 10^{28}$ |
| 178Hf | 27.280 | 0 | 2,1086 | — | $1,22 \cdot 10^{31}$ | $2,81 \cdot 10^{30}$ | $8,81 \cdot 10^{29}$ | $1,90 \cdot 10^{29}$ | $1,14 \cdot 10^{28}$ | $1,09 \cdot 10^{31}$ |
| 180W | 0.120 | 0 | 2,5379 | $>2,21 \cdot 10^{25}$ | $3,62 \cdot 10^{25}$ | $1,11 \cdot 10^{25}$ | $4,06 \cdot 10^{24}$ | $1,35 \cdot 10^{24}$ | $9,28 \cdot 10^{22}$ | $3,11 \cdot 10^{25}$ |
| 184Os | 0.020 | 0 | 2,9936 | $>1,77 \cdot 10^{21}$ | $1,06 \cdot 10^{21}$ | $3,76 \cdot 10^{20}$ | $1,57 \cdot 10^{20}$ | $7,39 \cdot 10^{19}$ | $6,17 \cdot 10^{18}$ | $8,31 \cdot 10^{20}$ |
| 185Re | 37.400 | 2 | 2,2245 | — | $1,97 \cdot 10^{32}$ | $2,06 \cdot 10^{33}$ | $5,77 \cdot 10^{30}$ | $7,47 \cdot 10^{30}$ | $3,52 \cdot 10^{29}$ | $3,42 \cdot 10^{31}$ |
| 187Os | 1.960 | 0 | 2,7545 | — | $1,13 \cdot 10^{24}$ | $8,26 \cdot 10^{24}$ | $1,92 \cdot 10^{23}$ | $5,08 \cdot 10^{23}$ | $5,62 \cdot 10^{22}$ | $8,57 \cdot 10^{23}$ |
| 188Os | 13.240 | 0 | 2,1766 | — | $5,43 \cdot 10^{33}$ | $4,99 \cdot 10^{32}$ | $1,40 \cdot 10^{32}$ | $2,17 \cdot 10^{31}$ | $3,55 \cdot 10^{30}$ | $2,12 \cdot 10^{33}$ |
| 192Pt | 0.782 | 0 | 2,4504 | — | $4,13 \cdot 10^{30}$ | $3,83 \cdot 10^{29}$ | $1,17 \cdot 10^{29}$ | $2,27 \cdot 10^{28}$ | $4,74 \cdot 10^{27}$ | $1,32 \cdot 10^{30}$ |

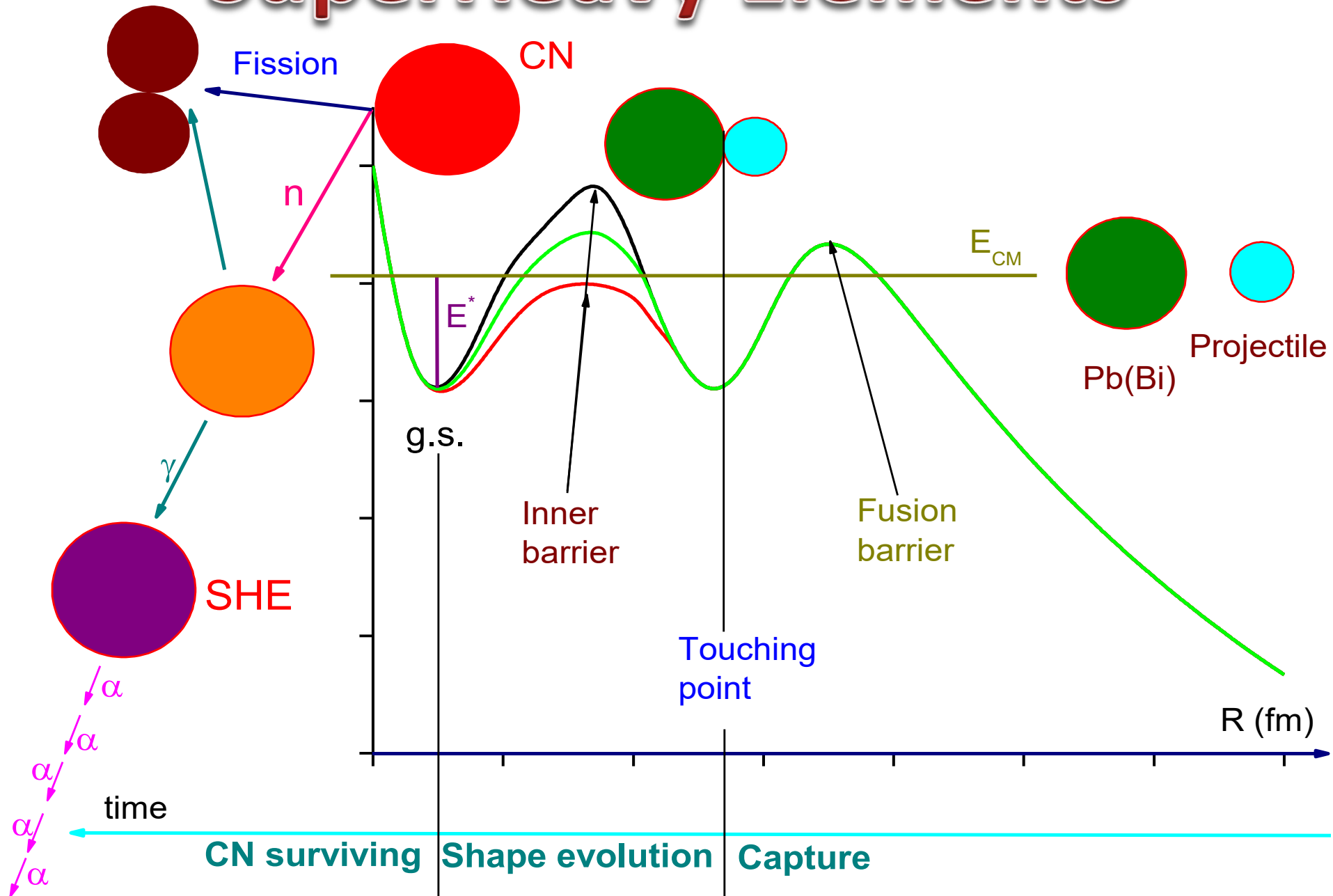
Nuclei with large differences between experimental and theoretical ($T_{1/2}$, sec)

| Isotope | Q, MeV | ℓ_α | $T_{1/2}$ Exp | $T_{1/2}$ UMADAC | $T_{1/2}$ Emp Rel Total | $T_{1/2}$ Royer | $T_{1/2}$ Dasgupta- Schubert | $T_{1/2}$ Möller | $T_{1/2}$ Medeiros |
|---------|--------|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 113I | 2,7212 | 0 | $1,99 \cdot 10^9$ | $9,85 \cdot 10^6$ | $1,06 \cdot 10^7$ | $1,53 \cdot 10^7$ | $2,61 \cdot 10^6$ | $2,35 \cdot 10^4$ | $2,00 \cdot 10^7$ |
| 149Gd | 3,1234 | 0 | $1,89 \cdot 10^{13}$ | $3,43 \cdot 10^{11}$ | $2,15 \cdot 10^{11}$ | $5,48 \cdot 10^{10}$ | $9,86 \cdot 10^{10}$ | $3,73 \cdot 10^9$ | $1,46 \cdot 10^{11}$ |
| 159Ta | 5,7099 | 5 | 1,30 | $3,87 \cdot 10^2$ | $9,06 \cdot 10^1$ | 1,73 | 0,70 | 0,20 | 1,69 |
| 176Ir | 5,2653 | 0 | $3,95 \cdot 10^2$ | $2,42 \cdot 10^4$ | $2,35 \cdot 10^4$ | $1,03 \cdot 10^4$ | $6,85 \cdot 10^4$ | $4,82 \cdot 10^3$ | $1,07 \cdot 10^4$ |
| 185Pt | 4,4769 | 5 | $8,51 \cdot 10^7$ | $7,73 \cdot 10^{11}$ | $1,16 \cdot 10^{13}$ | $7,58 \cdot 10^8$ | $2,25 \cdot 10^9$ | $4,12 \cdot 10^8$ | $1,07 \cdot 10^9$ |
| 181Hg | 6,3172 | 2 | $2,00 \cdot 10^3$ | $1,11 \cdot 10^1$ | $3,30 \cdot 10^1$ | 4,93 | $1,58 \cdot 10^1$ | 3,02 | 4,52 |
| 202Pb | 2,6299 | 0 | $1,66 \cdot 10^{14}$ | $2,14 \cdot 10^{31}$ | $8,59 \cdot 10^{29}$ | $2,50 \cdot 10^{29}$ | $4,15 \cdot 10^{28}$ | $1,91 \cdot 10^{28}$ | $2,84 \cdot 10^{30}$ |
| 206At | 5,9244 | 0 | $2,29 \cdot 10^7$ | $1,15 \cdot 10^5$ | $1,04 \cdot 10^5$ | $3,16 \cdot 10^4$ | $1,31 \cdot 10^5$ | $3,51 \cdot 10^4$ | $2,08 \cdot 10^4$ |
| 223Ra | 6,0172 | 2 | $9,88 \cdot 10^7$ | $8,57 \cdot 10^5$ | $2,79 \cdot 10^6$ | $1,31 \cdot 10^5$ | $5,79 \cdot 10^5$ | $3,17 \cdot 10^5$ | $1,15 \cdot 10^5$ |
| 210Ac | 7,6471 | 6 | 0,35 | 2,04 | 12,80 | 0,17 | 0,20 | 0,40 | 0,16 |
| 220Ac | 8,3872 | 2 | 0,88 | $1,28 \cdot 10^{-3}$ | $5,32 \cdot 10^{-3}$ | $3,70 \cdot 10^{-4}$ | $2,59 \cdot 10^{-4}$ | $2,14 \cdot 10^{-3}$ | $5,97 \cdot 10^{-4}$ |
| 229Th | 5,2073 | 2 | $4,63 \cdot 10^{14}$ | $1,02 \cdot 10^{11}$ | $1,58 \cdot 10^{12}$ | $2,36 \cdot 10^{10}$ | $1,08 \cdot 10^{11}$ | $5,77 \cdot 10^{10}$ | $2,39 \cdot 10^{10}$ |
| 218Pa | 9,8554 | 0 | $1,74 \cdot 10^{-4}$ | $2,19 \cdot 10^{-6}$ | $1,56 \cdot 10^{-6}$ | $2,38 \cdot 10^{-7}$ | $8,40 \cdot 10^{-8}$ | $1,80 \cdot 10^{-6}$ | $5,99 \cdot 10^{-7}$ |
| 222Pa | 8,8955 | 0 | $1,07 \cdot 10^{-2}$ | $2,07 \cdot 10^{-4}$ | $4,44 \cdot 10^{-4}$ | $7,40 \cdot 10^{-5}$ | $4,09 \cdot 10^{-5}$ | $4,42 \cdot 10^{-4}$ | $1,18 \cdot 10^{-4}$ |
| 224Pa | 7,7334 | 2 | $3,16 \cdot 10^2$ | 1,64 | 5,49 | 0,37 | 0,40 | 1,30 | 0,33 |
| 231U | 5,6170 | 2 | $1,29 \cdot 10^2$ | $3,62 \cdot 10^9$ | $5,92 \cdot 10^{10}$ | $1,17 \cdot 10^9$ | $5,72 \cdot 10^9$ | $2,90 \cdot 10^9$ | $9,84 \cdot 10^8$ |
| 235Am | 6,6482 | 1 | $1,49 \cdot 10^5$ | $1,23 \cdot 10^7$ | $3,03 \cdot 10^7$ | $2,08 \cdot 10^5$ | $3,25 \cdot 10^5$ | $3,73 \cdot 10^5$ | $1,73 \cdot 10^5$ |
| 243Bk | 6,9187 | 2 | $7,04 \cdot 10^7$ | $1,25 \cdot 10^5$ | $8,29 \cdot 10^5$ | $8,41 \cdot 10^4$ | $1,45 \cdot 10^5$ | $1,94 \cdot 10^5$ | $6,79 \cdot 10^4$ |
| 244Bk | 6,8236 | 2 | $5,22 \cdot 10^8$ | $2,67 \cdot 10^5$ | $1,04 \cdot 10^7$ | $5,84 \cdot 10^5$ | $1,43 \cdot 10^6$ | $1,08 \cdot 10^6$ | $1,69 \cdot 10^5$ |
| 255Fm | 7,2858 | 4 | $1,03 \cdot 10^8$ | $2,83 \cdot 10^5$ | $3,84 \cdot 10^6$ | $5,23 \cdot 10^4$ | $3,39 \cdot 10^5$ | $2,19 \cdot 10^5$ | $2,66 \cdot 10^4$ |
| 256Md | 7,9524 | 4 | $5,13 \cdot 10^6$ | $1,44 \cdot 10^3$ | $2,78 \cdot 10^4$ | $5,74 \cdot 10^2$ | $6,20 \cdot 10^2$ | $1,88 \cdot 10^3$ | $1,90 \cdot 10^2$ |
| 258Md | 7,3185 | 1 | $4,45 \cdot 10^{10}$ | $1,93 \cdot 10^7$ | $9,19 \cdot 10^6$ | $1,93 \cdot 10^5$ | $3,33 \cdot 10^5$ | $4,67 \cdot 10^5$ | $4,72 \cdot 10^4$ |

SuperHeavy Elements

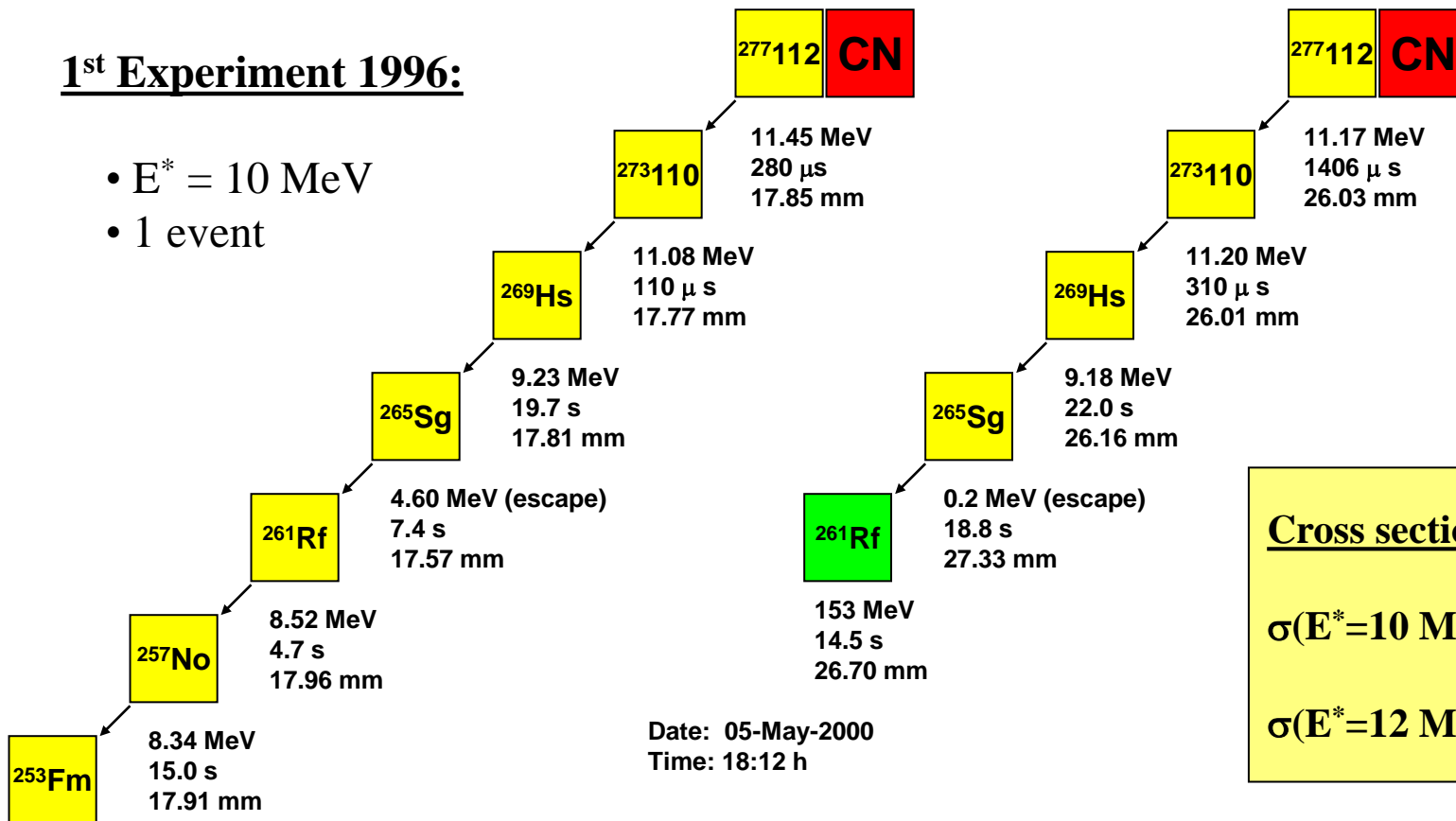


SuperHeavy Elements



1st Experiment 1996:

- $E^* = 10$ MeV
- 1 event



Date: 05-May-2000
Time: 18:12 h

Cross section values:

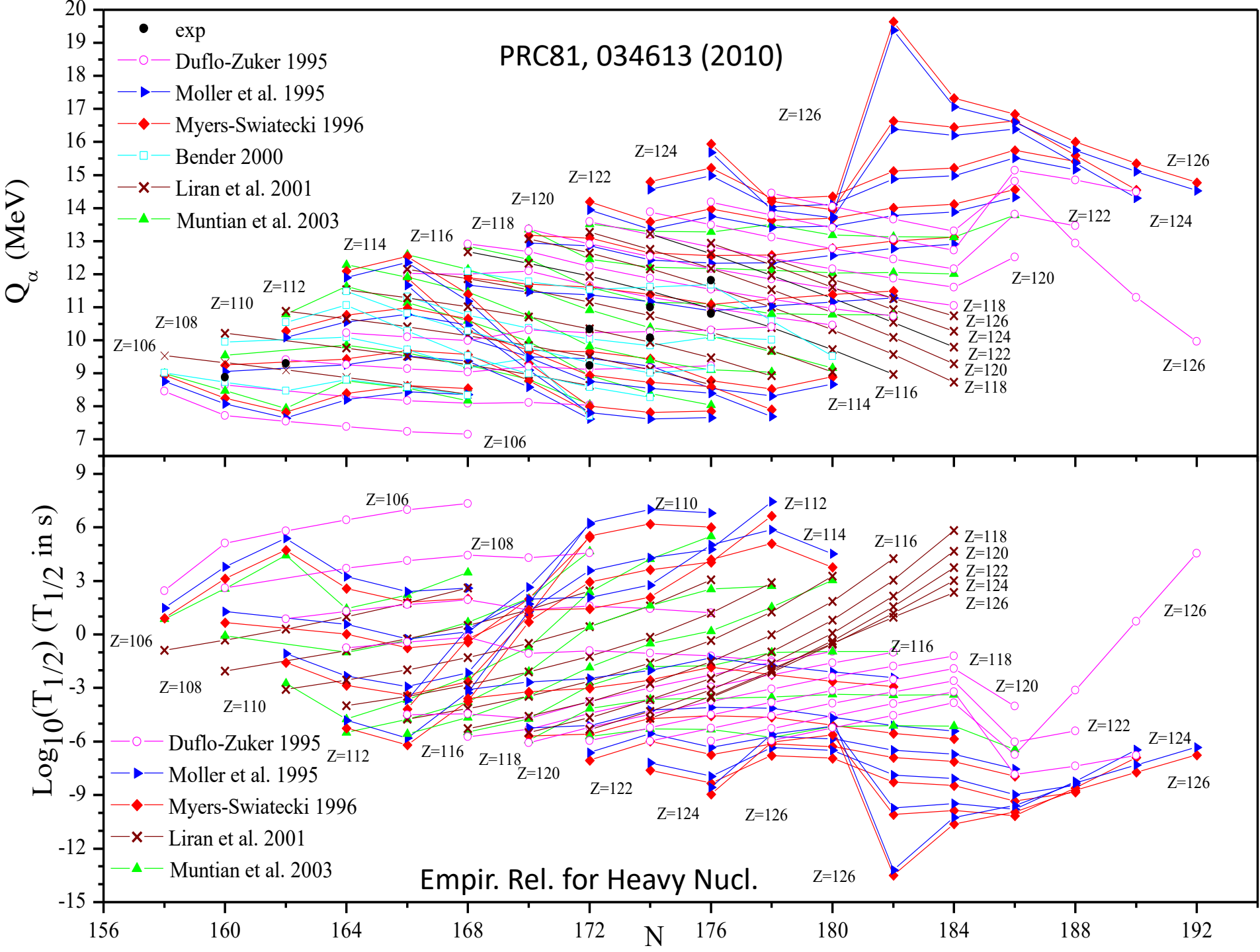
$$\sigma(E^*=10 \text{ MeV}) = 0.4^{+0.9}_{-0.3} \text{ pb}$$

$$\sigma(E^*=12 \text{ MeV}) = 0.5^{+1.1}_{-0.4} \text{ pb}$$

Date: 09-Feb-1996
Time: 22:37 h

2nd Exp. in May 2000:

- $E^* = 10$ MeV and 12 MeV
- 1 event



Висновки

- UMADAC is established.
- Знайдено емпіричні співвідношення для періодів напіврозпаду альфа-розпаду, пов'язаних з переходами від GS до GS.
- Визначено потенціал альфа-ядра для енергій підбар'єрних і навколобар'єрних зіткнень.
- Дуже важливо враховувати як спини, так і паритети станів, між якими відбуваються альфа-переходи.
- Поверхнева деформація дочірніх ядер сильно посилюється як перетином захоплення при енергії суббар'єру, так і шириною альфа-розпаду.

Дякую за увагу!!!