

Синтез новых элементов 113 - 118 в реакциях полного слияния

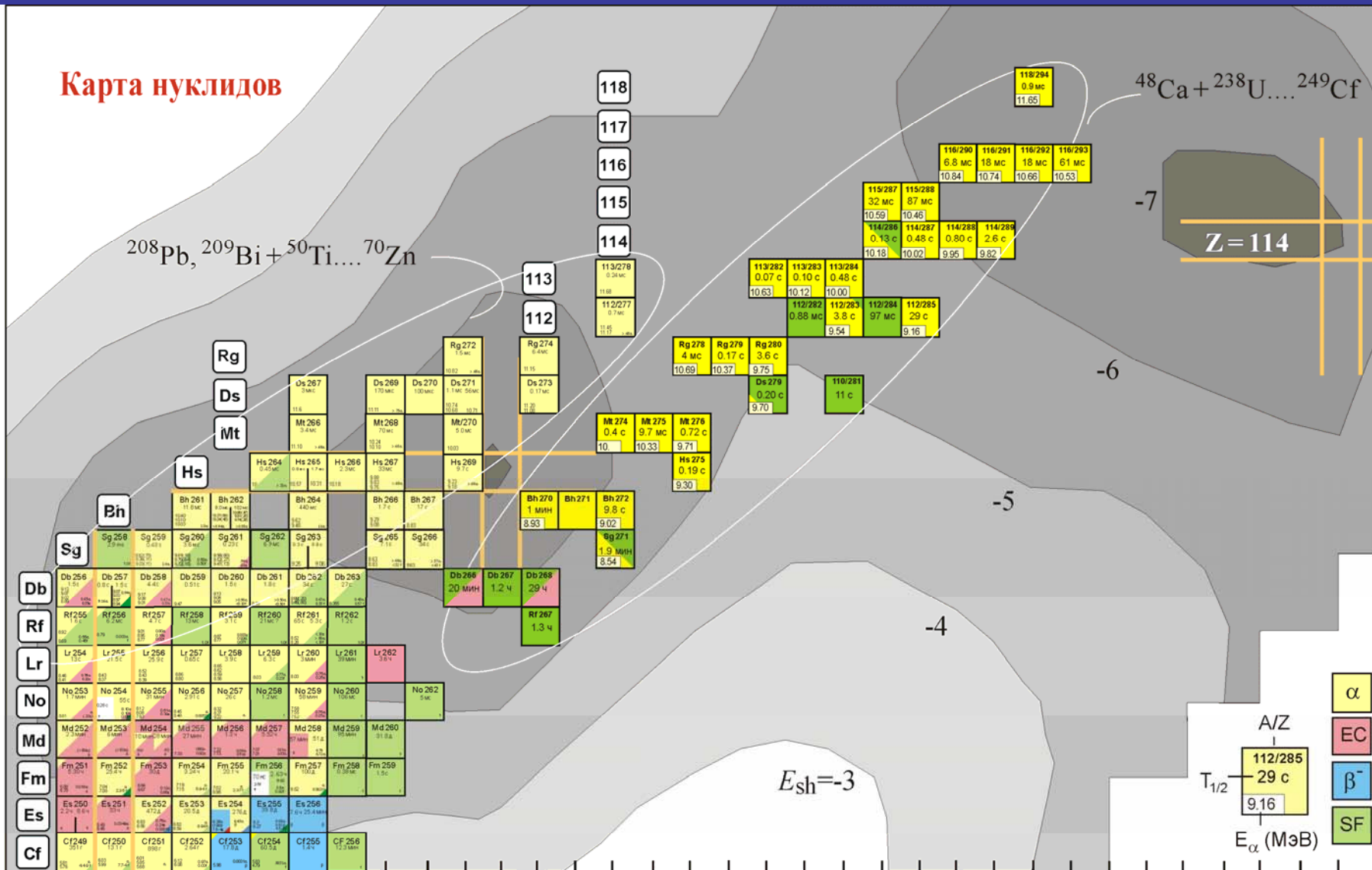


Утенков В.К.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

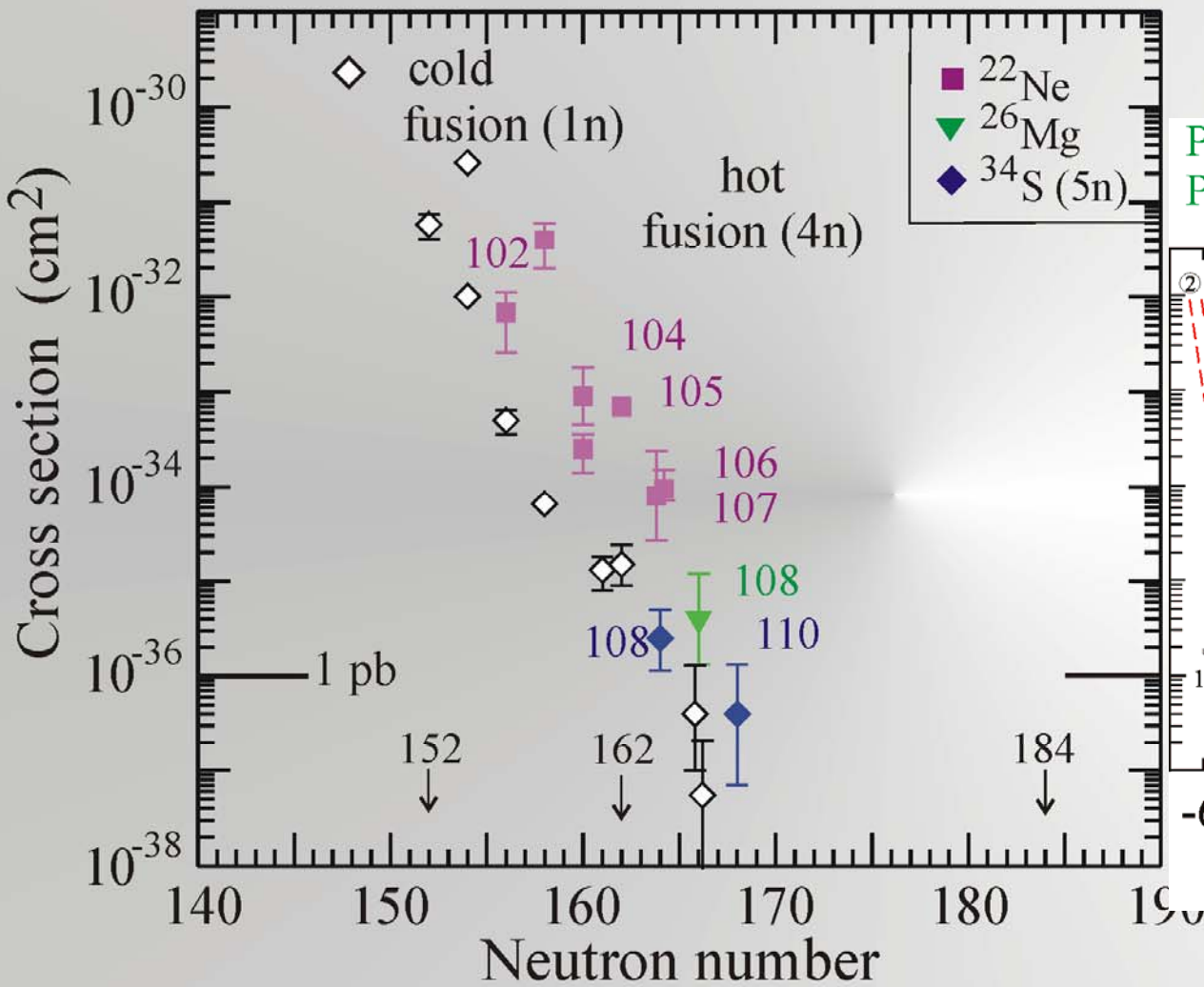
Карта нуклидов

Число протонов

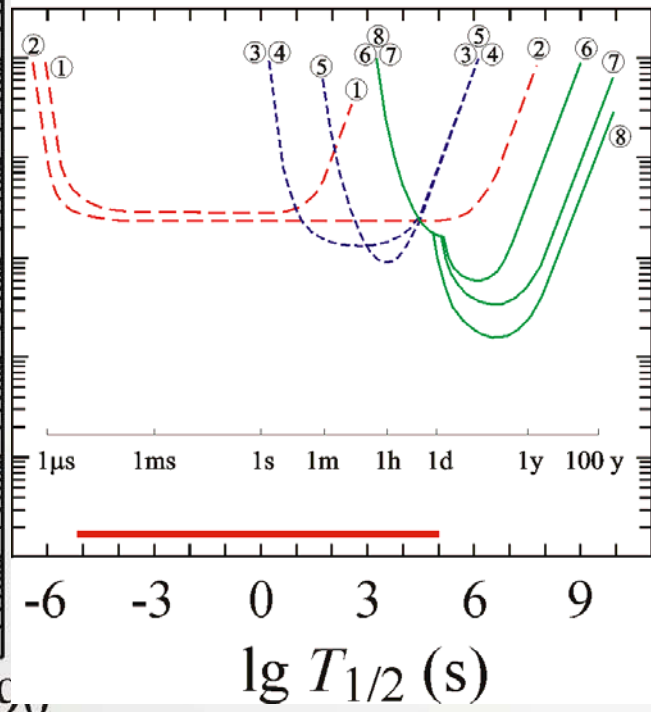


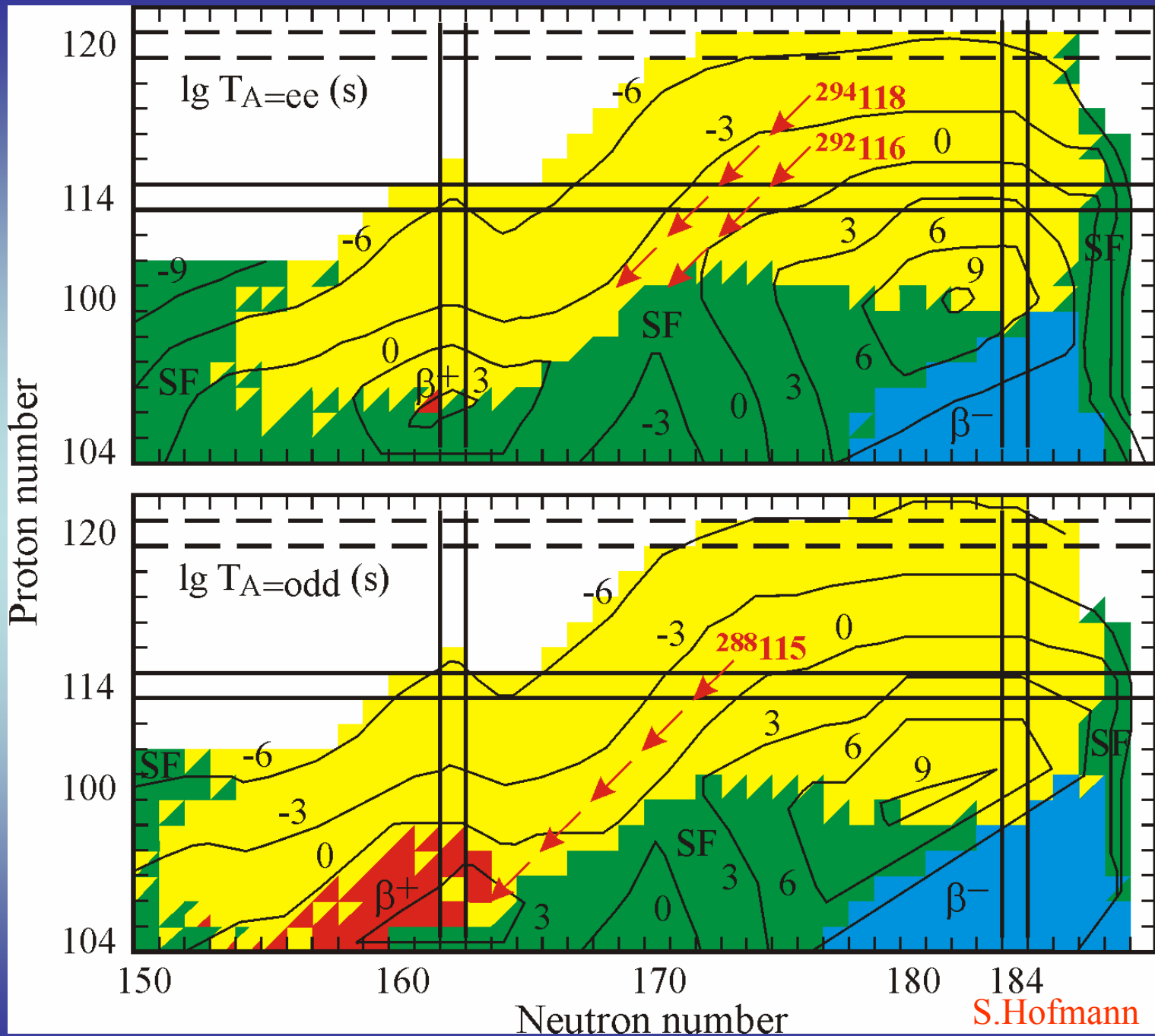
Число нейтронов

150 152 154 156 158 160 162 164 166 168 170 172 174 176 178 180 182 184



P. Armbruster *et al.*, ⁴⁸Ca + ²⁴⁸Cm
 Phys. Rev. Lett. **54**, 406 (1985).





S.Hofmann

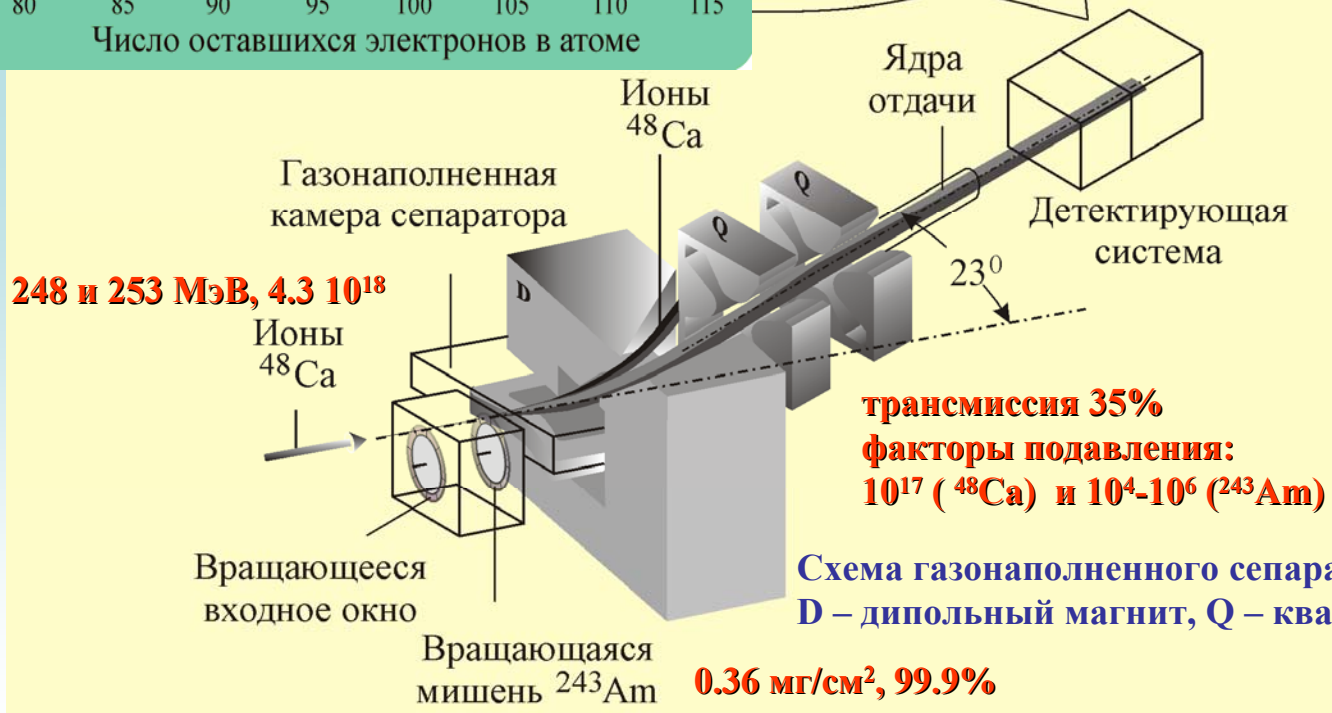
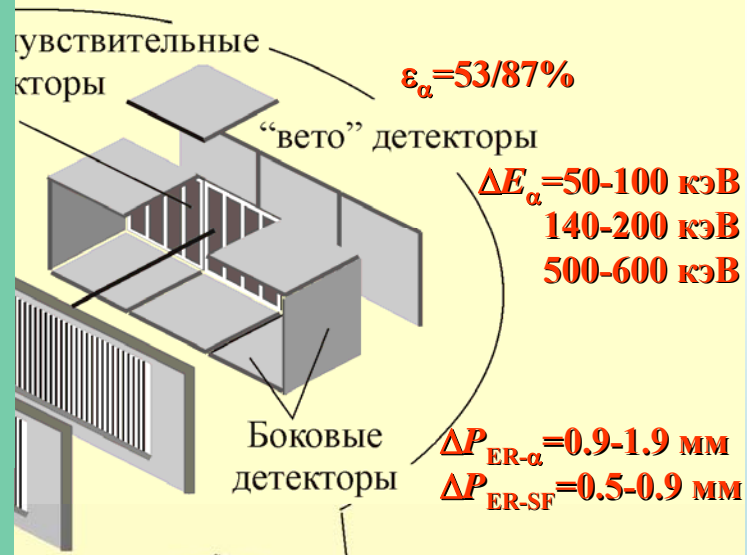
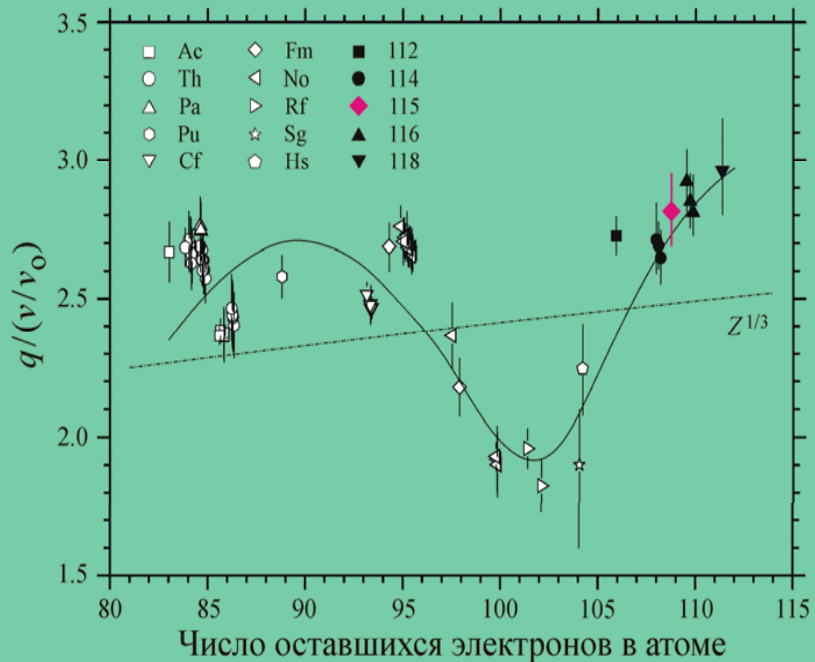
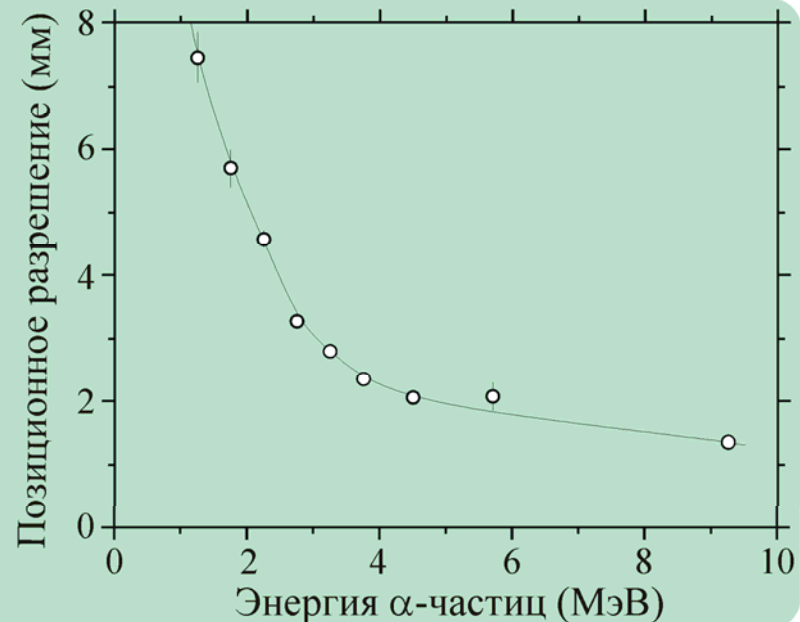
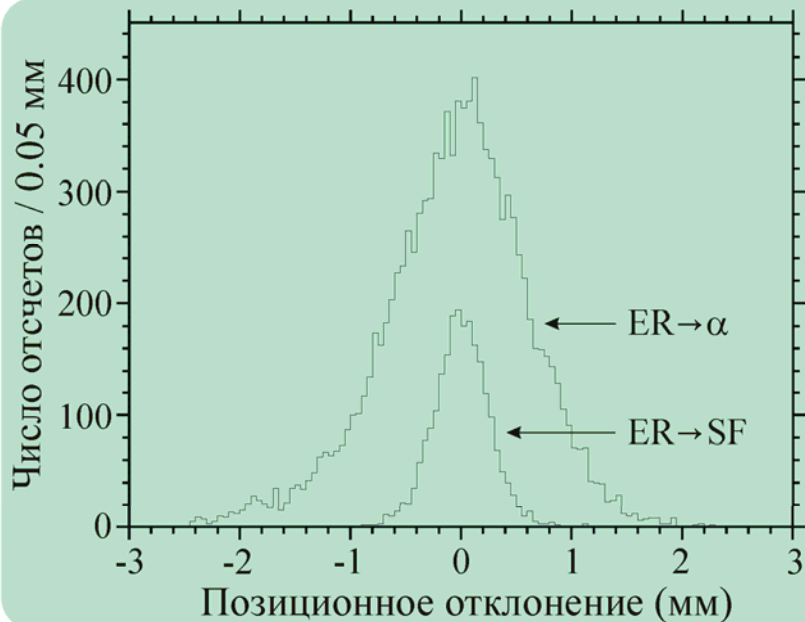
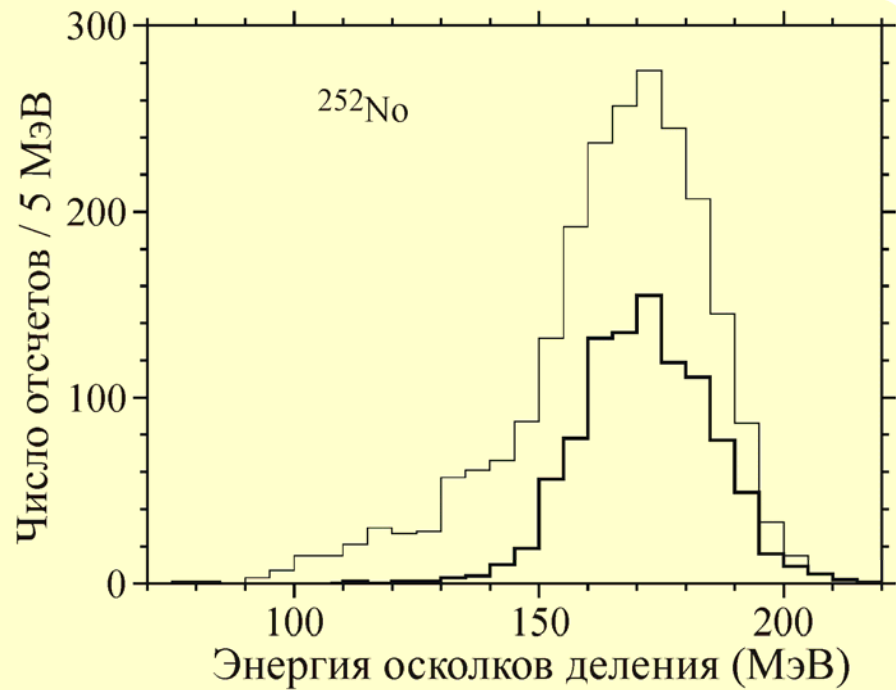
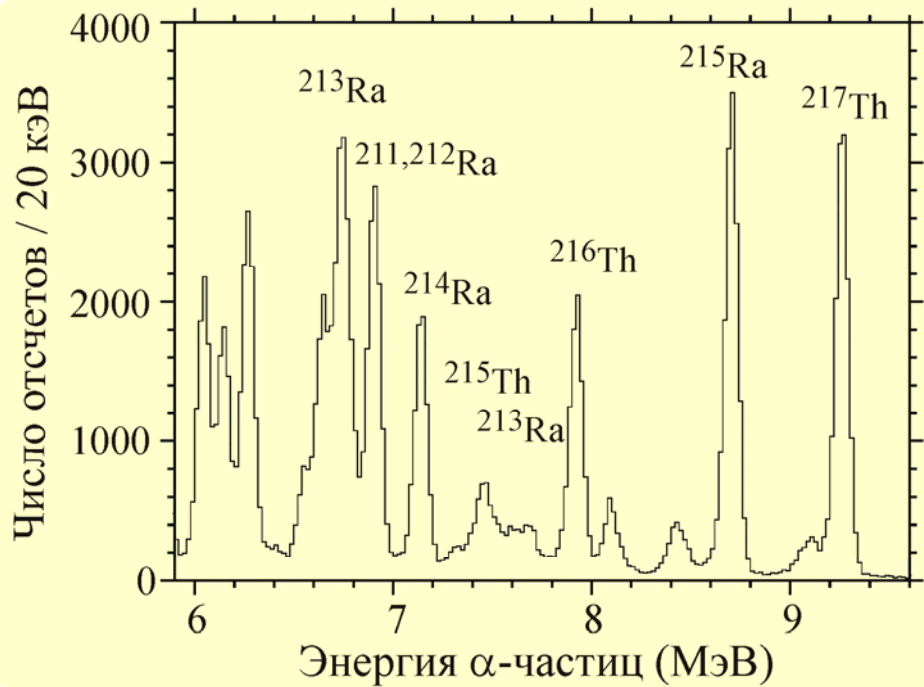
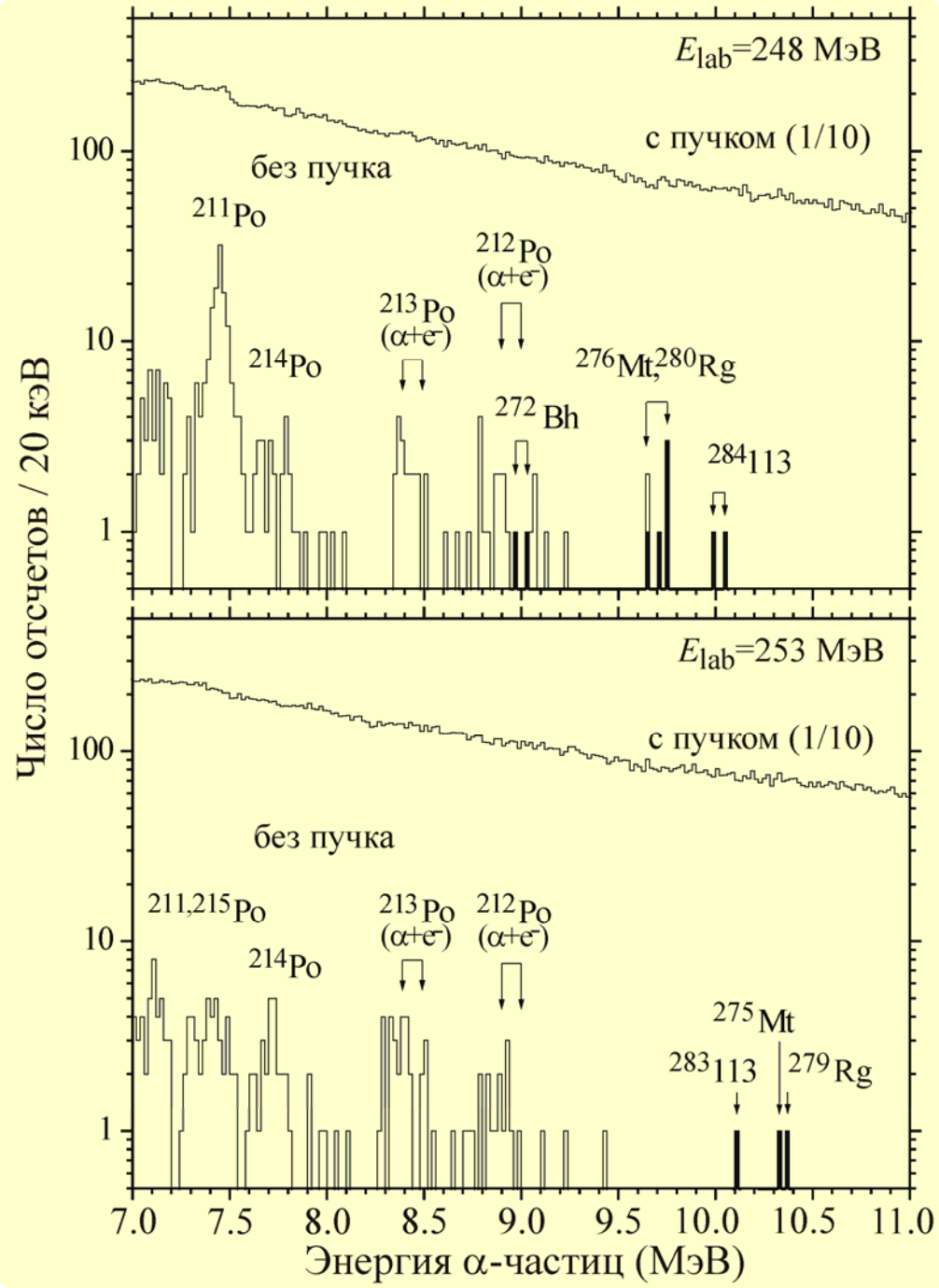
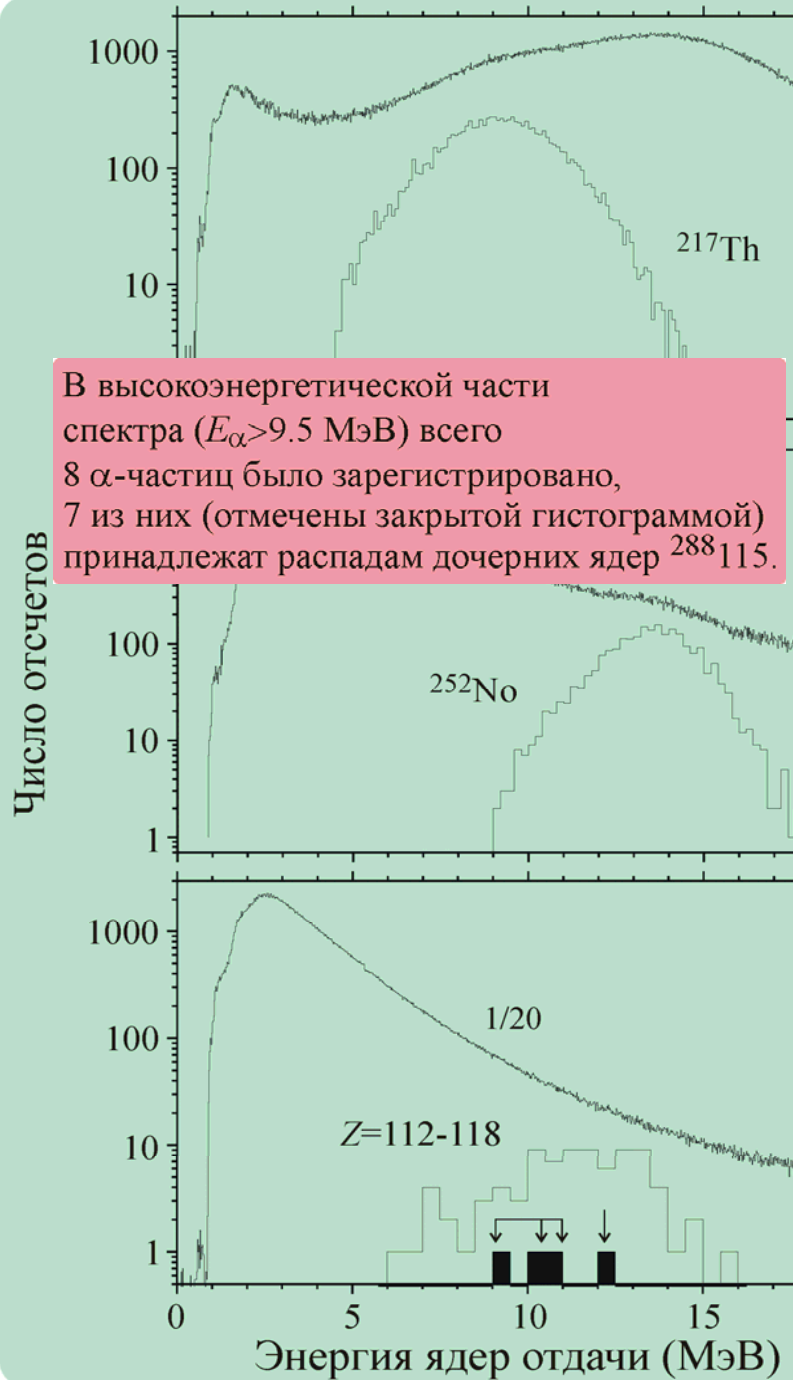
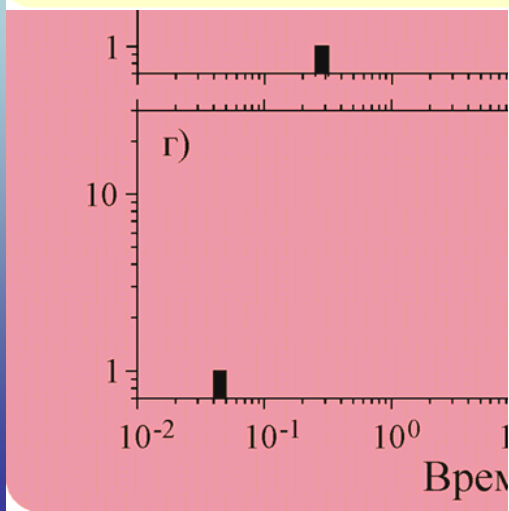
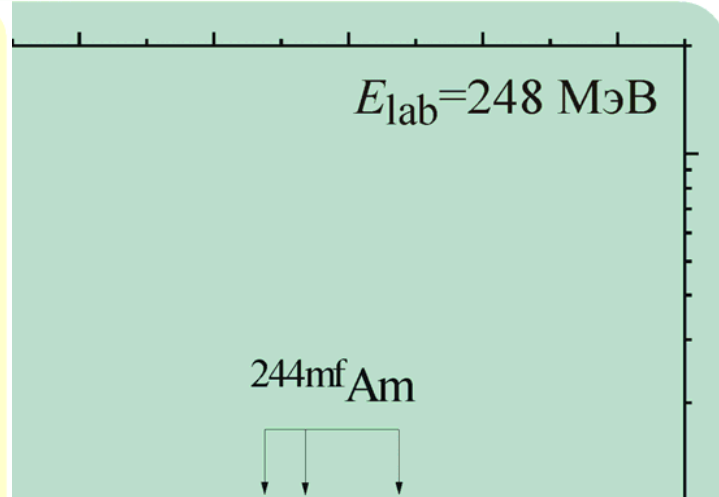
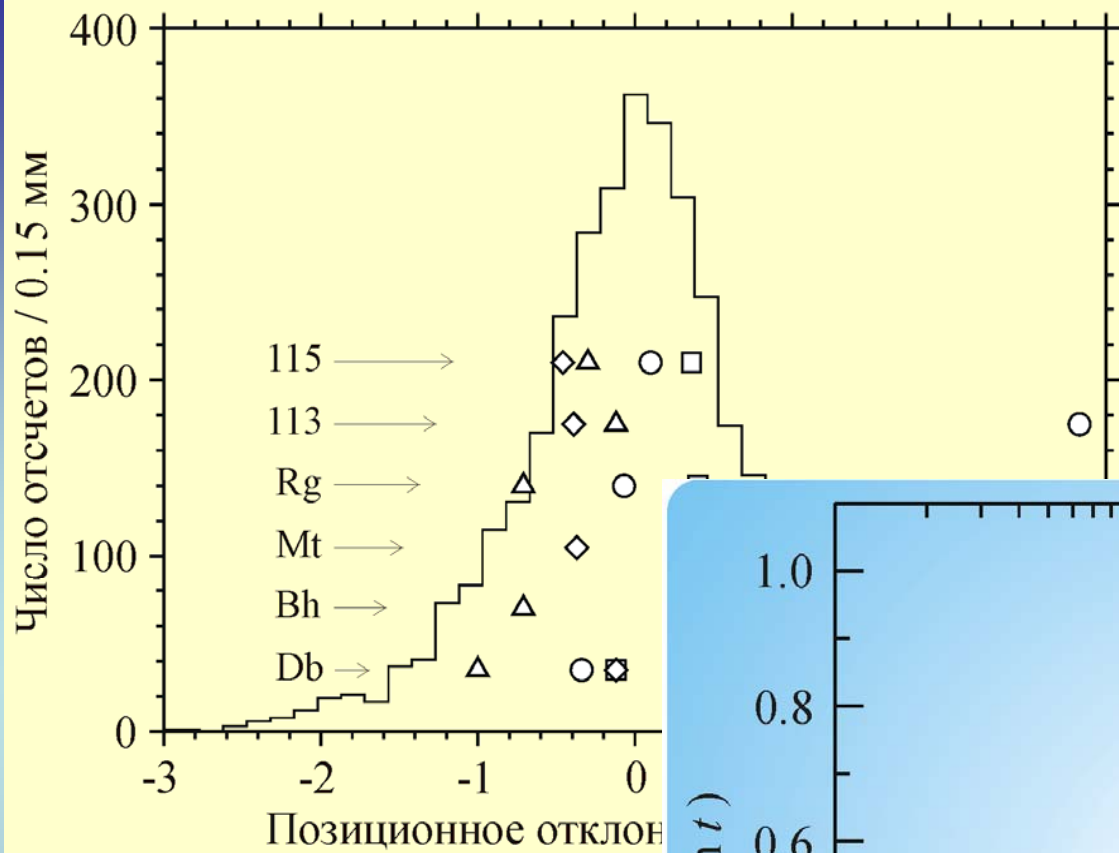


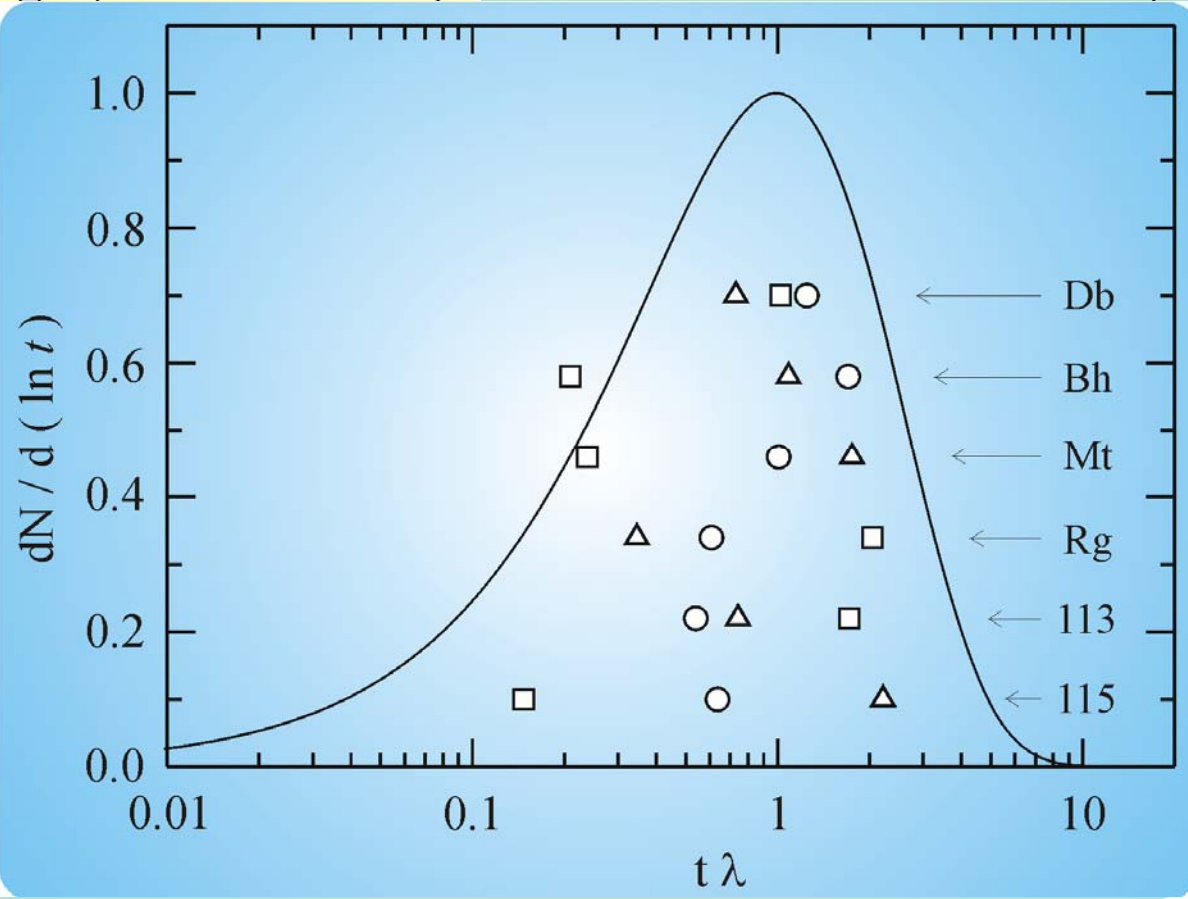
Схема газонаполненного сепаратора ядер отдачи.
 D – дипольный магнит, Q – квадрупольные линзы.

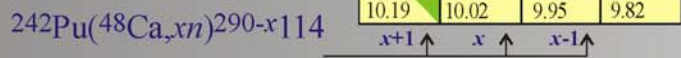
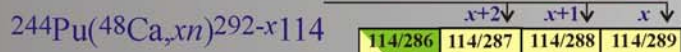






Ч





| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 112/282 | 112/283 | 112/284 | 112/285 |
| 0.82 ms | 3.8 s | 97 ms | 29 s |
| 9.54 | 9.54 | 9.16 | 9.16 |

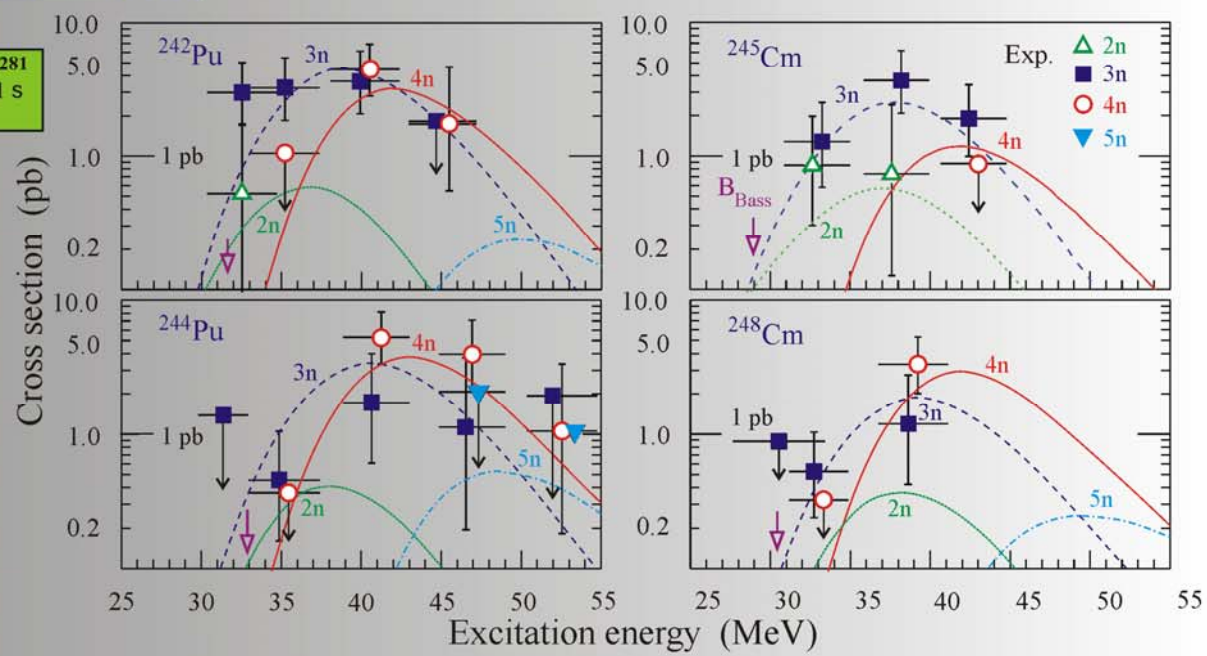
Ds 279
0.20 s
9.70

Ds 281
11 s

Hs 275
0.19 s
9.30

Sg 271
1.9 m
8.54

Rf 267
1.3 h



V. Zagrebaev

245,248Cm($^{48}\text{Ca},xn$) $^{293,296-x}116$

| | | | |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| 116/290 7.1 ms | 116/291 18 ms | 116/292 18 ms | 116/293 61 ms |
| 10.84 | 10.74 | 10.66 | 10.53 |

243Am($^{48}\text{Ca},xn$) $^{291-x}115$

| | |
|------------------|------------------|
| 115/287 32 ms | 115/288 87 ms |
| 10.59 | 10.46 |

242,244Pu($^{48}\text{Ca},xn$) $^{290,292-x}114$

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 114/286 0.13 s | 114/287 0.48 s | 114/288 0.80 s | 114/289 2.6 s |
| 10.19 | 10.02 | 9.95 | 9.82 |

237Np($^{48}\text{Ca},xn$) $^{285-x}113$

| | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| 113/282 0.07 s | 113/283 0.10 s | 113/284 0.48 s |
| 10.62 | 10.12 | 10.00 |

238U($^{48}\text{Ca},xn$) $^{286-x}112$

| | | | |
|--------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 112/282 0.82 ms | 112/283 3.8 s | 112/284 97 ms | 112/285 29 s |
| | 9.54 | | 9.16 |

| | | |
|----------------|------------------|-----------------|
| Rg 278 4 ms | Rg 279 0.17 s | Rg 280 3.6 s |
| 10.69 | 10.37 | 9.75 |

| |
|------------------|
| Ds 279 0.20 s |
| 9.70 |

| |
|----------------|
| Ds 281 11 s |
|----------------|

| | | |
|------------------|------------------|------------------|
| Mt 274 0.45 s | Mt 275 9.7 ms | Mt 276 0.72 s |
| 10.02 | 10.33 | 9.71 |

| |
|------------------|
| Hs 275 0.19 s |
| 9.30 |

| | | |
|-----------------|--------|-----------------|
| Bh 270 1 min | Bh 271 | Bh 272 9.8 s |
| 8.93 | | 9.02 |

| |
|-----------------|
| Sg 271 1.9 m |
| 8.54 |

| | | |
|------------------|-----------------|----------------|
| Db 266 20 min | Db 267 1.2 h | Db 268 29 h |
|------------------|-----------------|----------------|

| | |
|--------|-----------------|
| Rf 266 | Rf 267 1.3 h |
|--------|-----------------|

| | |
|--------------|---------|
| A/Z | 112/285 |
| $T_{1/2}$ | 29 s |
| E_{α} | 9.16 |

α

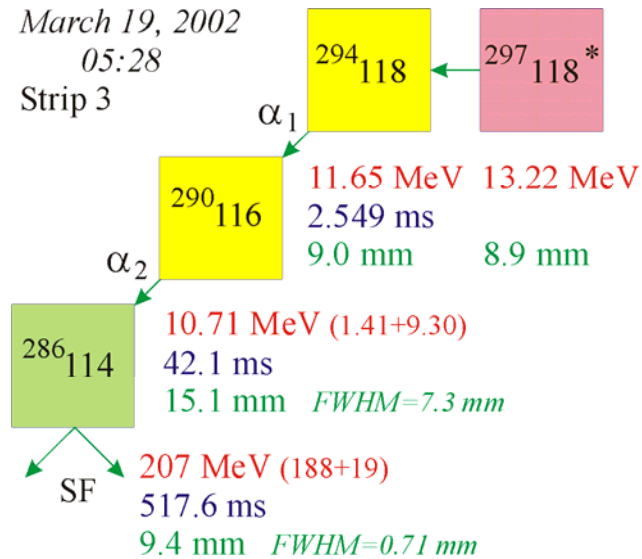
SF

β^+

March 19, 2002

05:28

Strip 3



$^{249}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca}$

$E^* = 26.6\text{-}31.7$ MeV

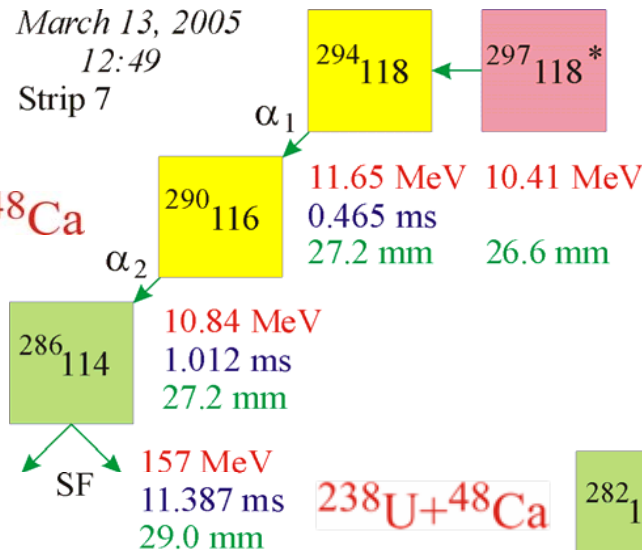
Beam dose = 2.5×10^{19}

March 13, 2005

12:49

Strip 7

$^{245}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$



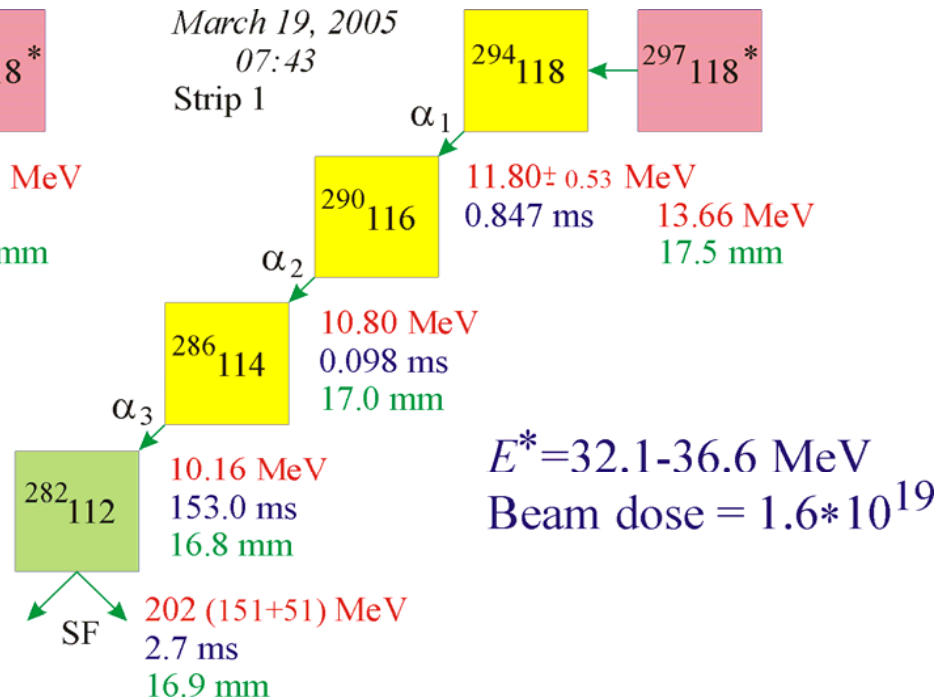
March 19, 2005

07:43

Strip 1

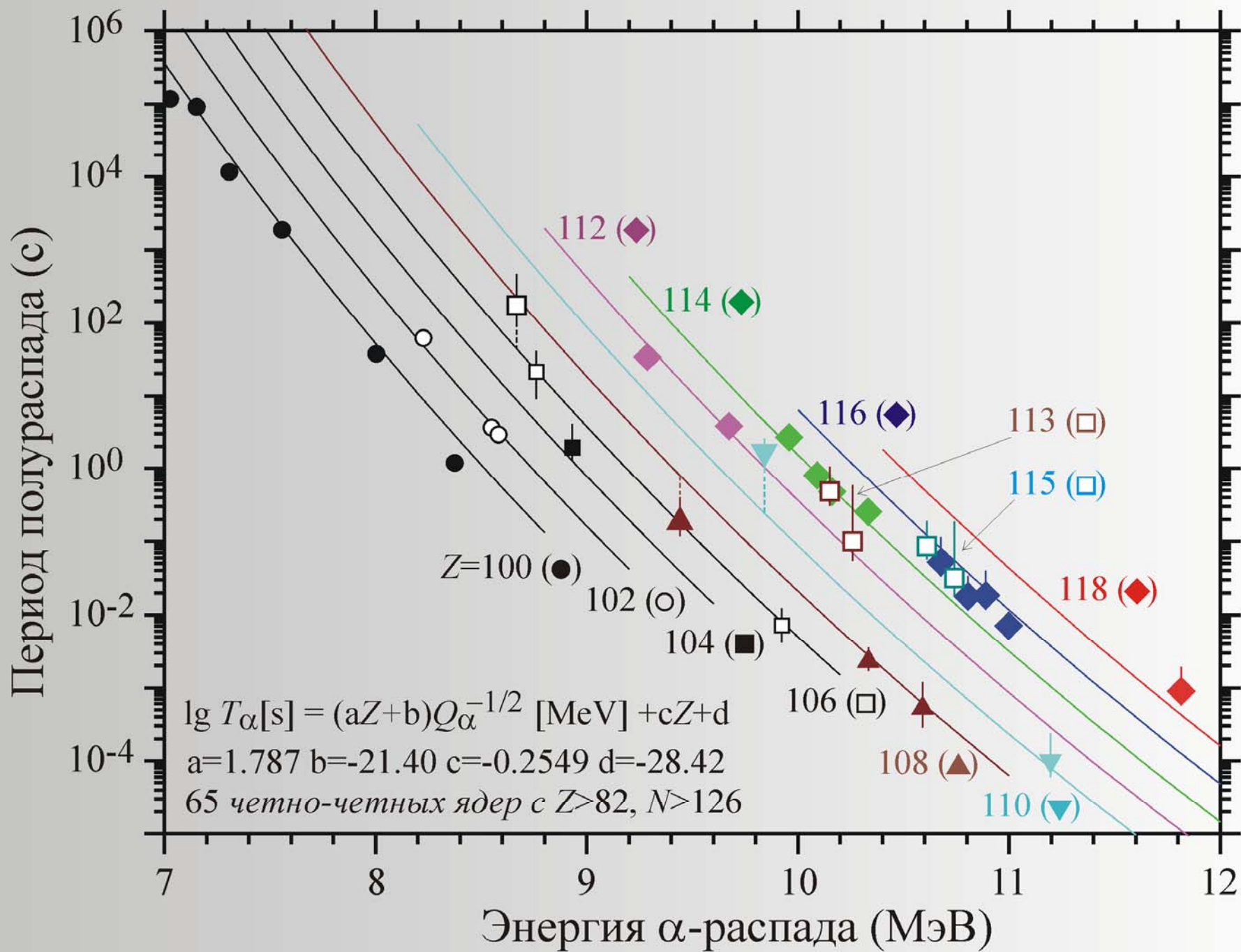
$^{242}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$

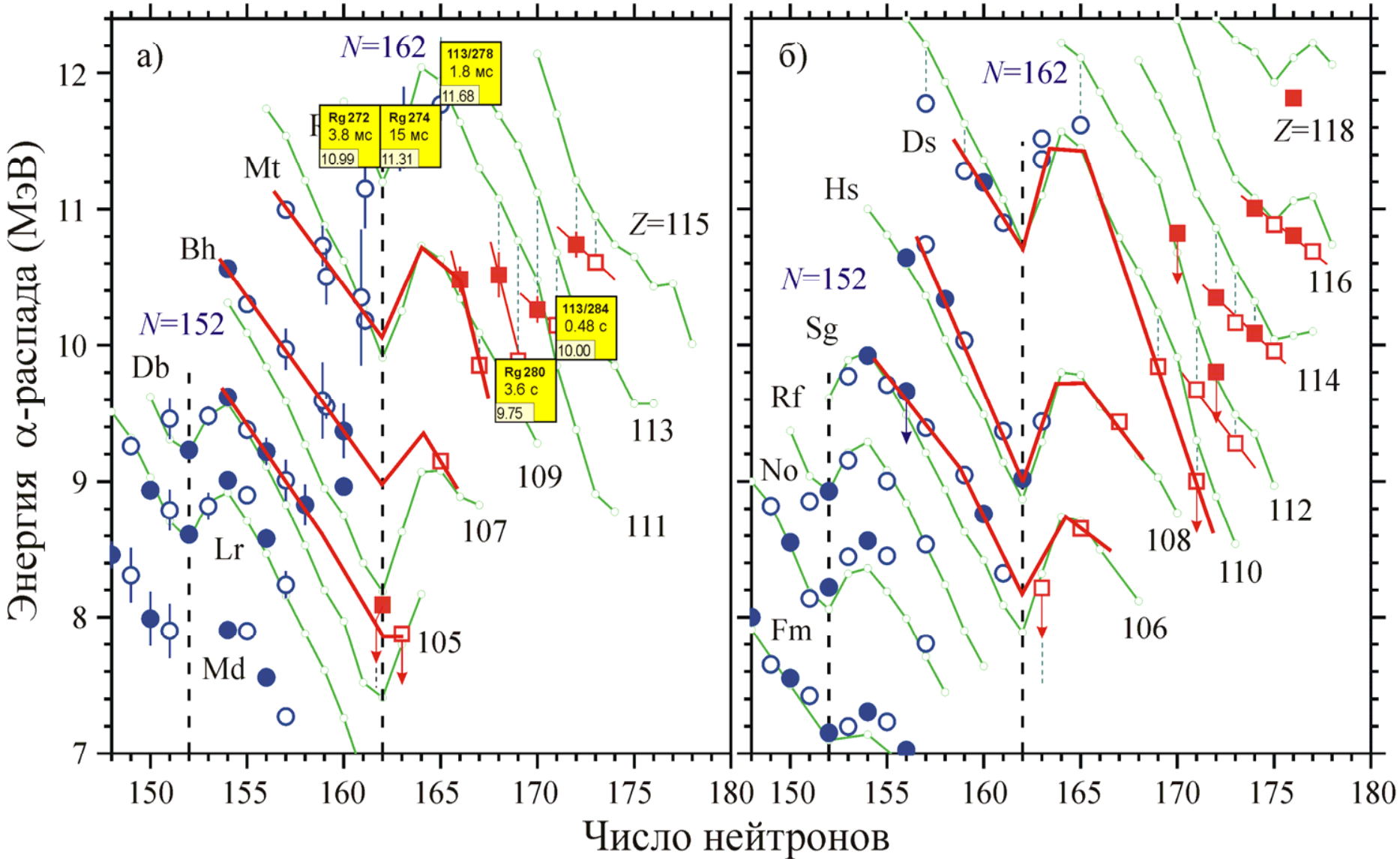
$^{238}\text{U} + ^{48}\text{Ca}$



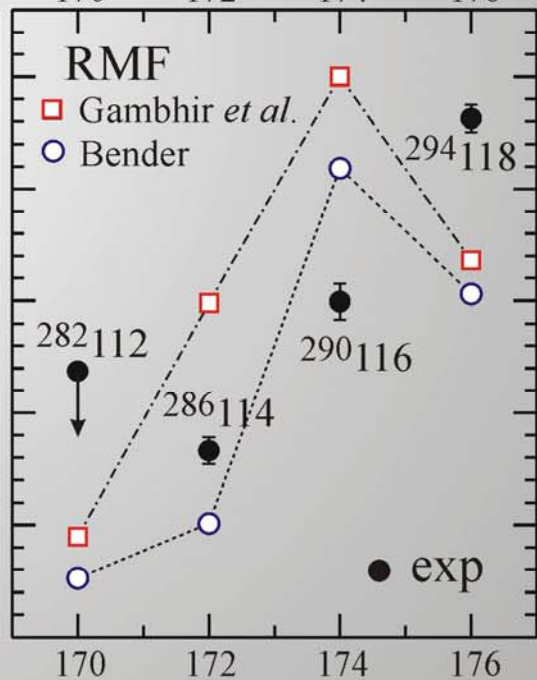
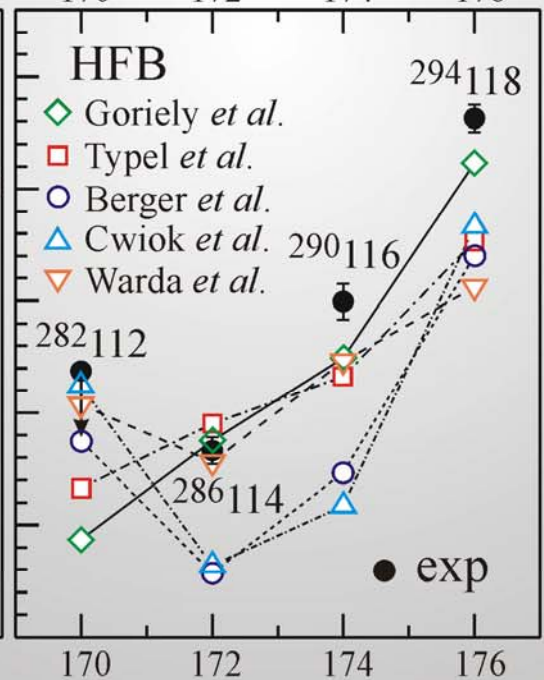
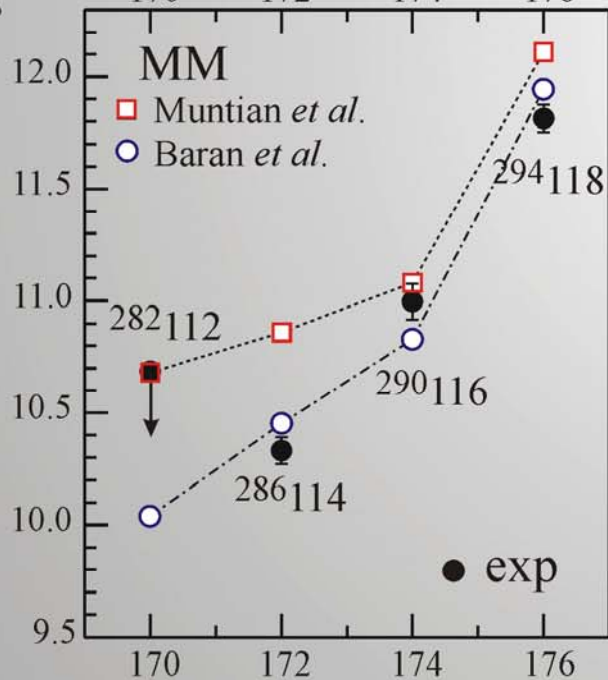
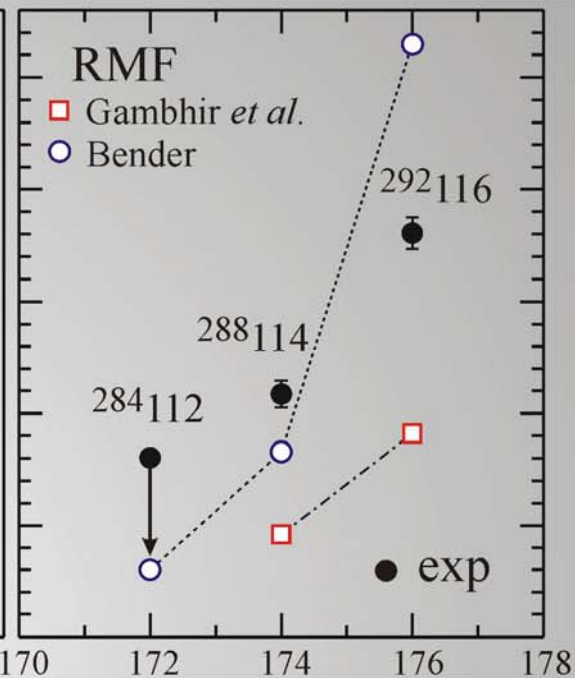
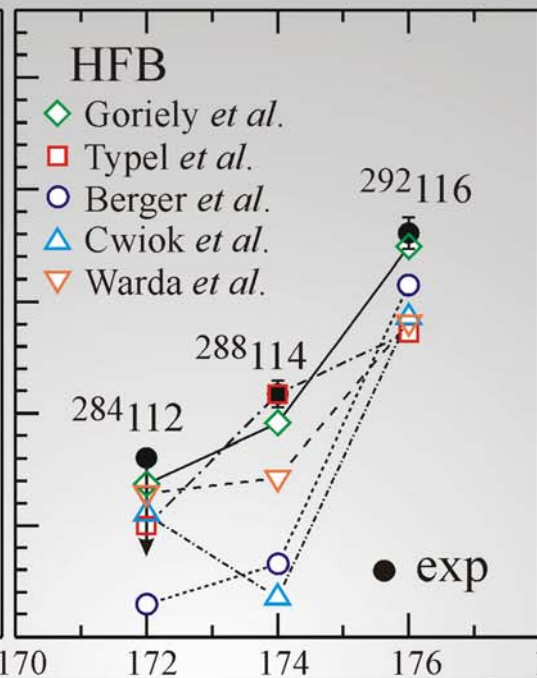
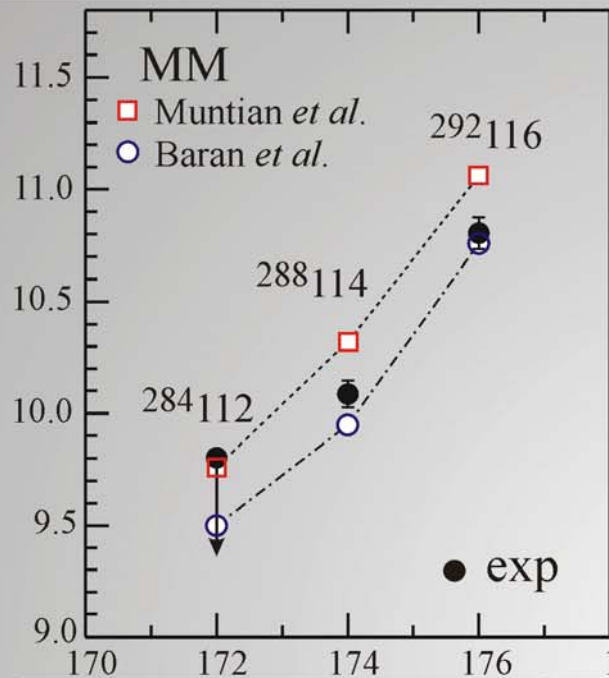
$E^* = 32.1\text{-}36.6$ MeV

Beam dose = 1.6×10^{19}

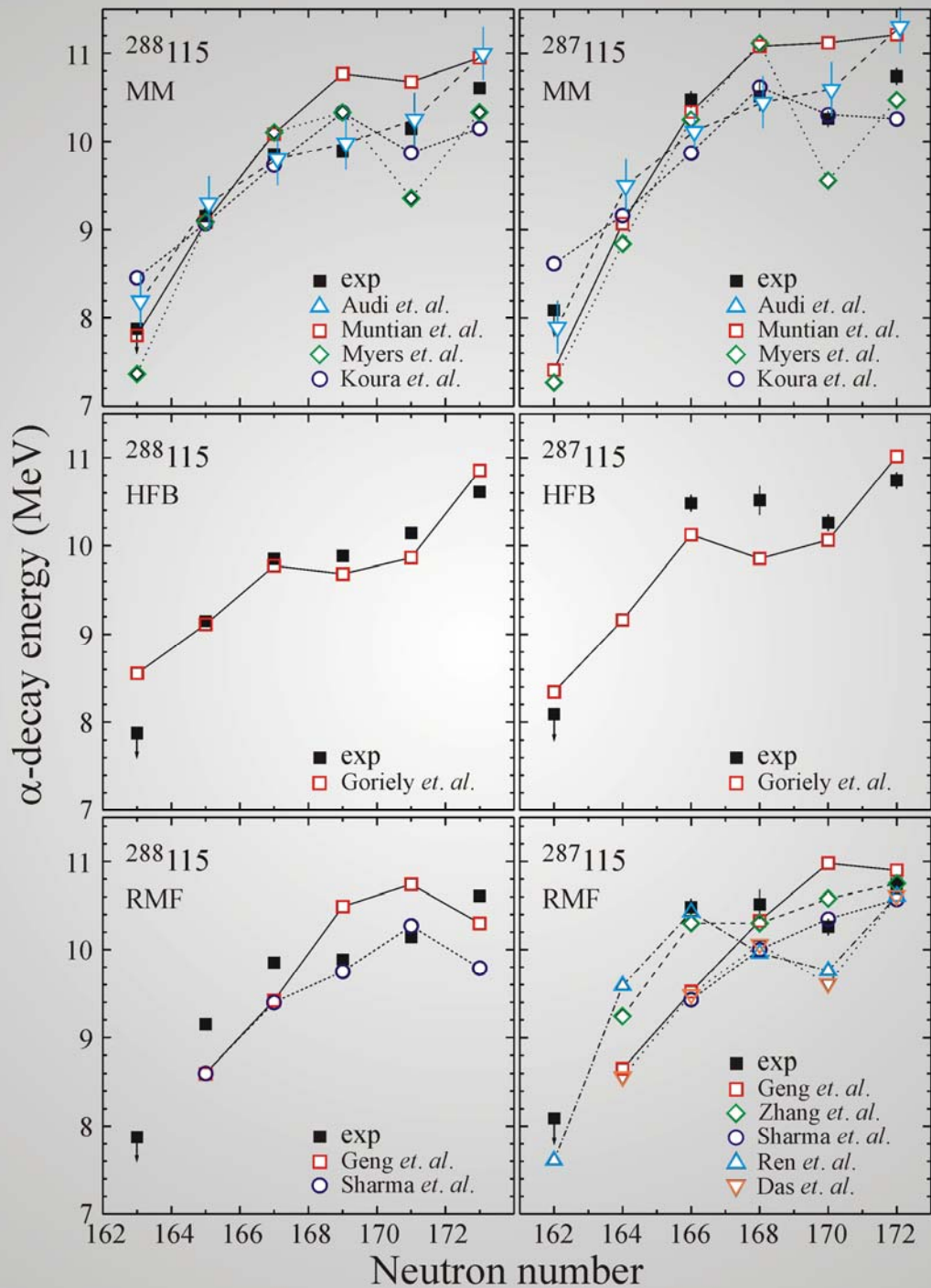


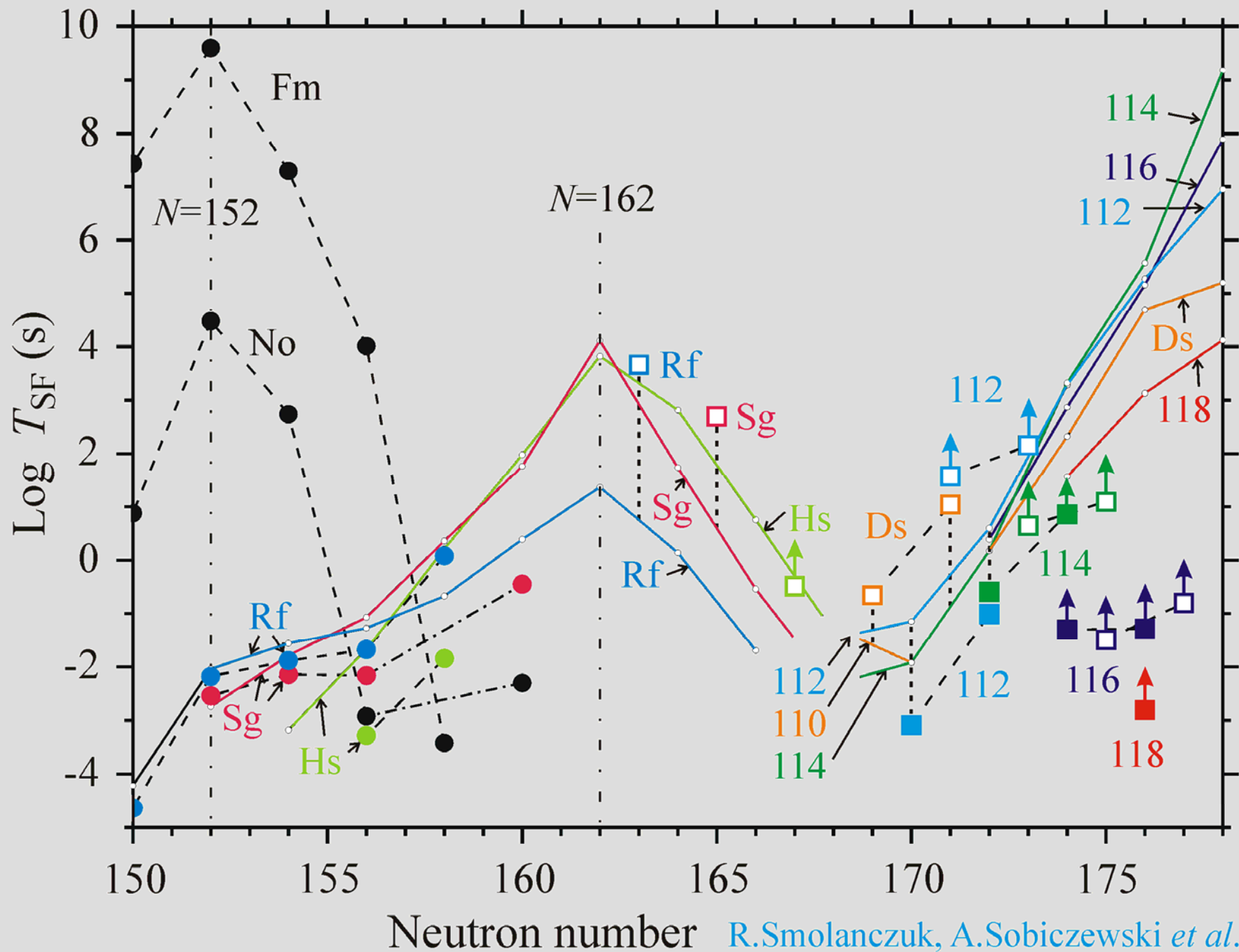


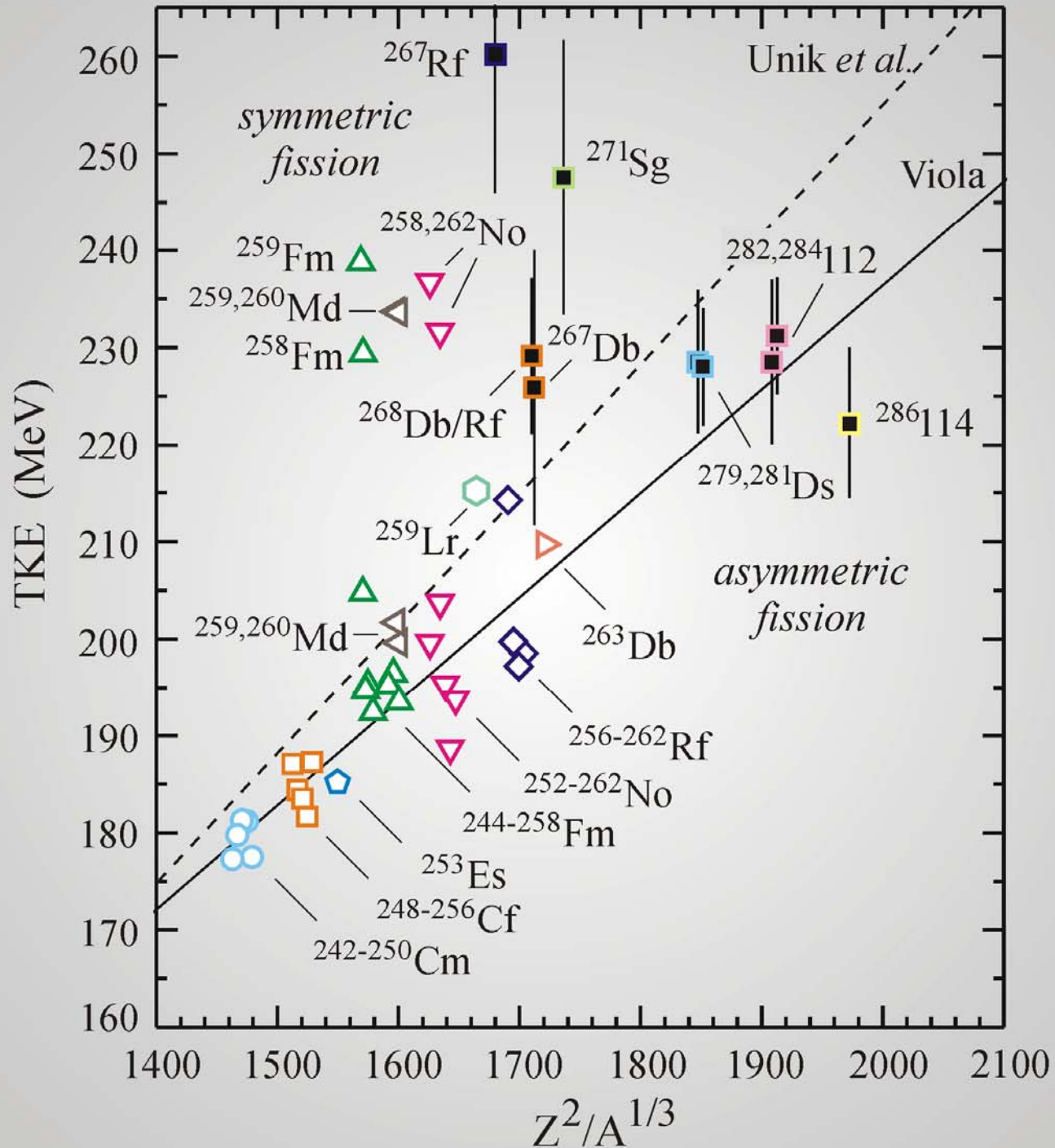
α -decay energy (MeV)

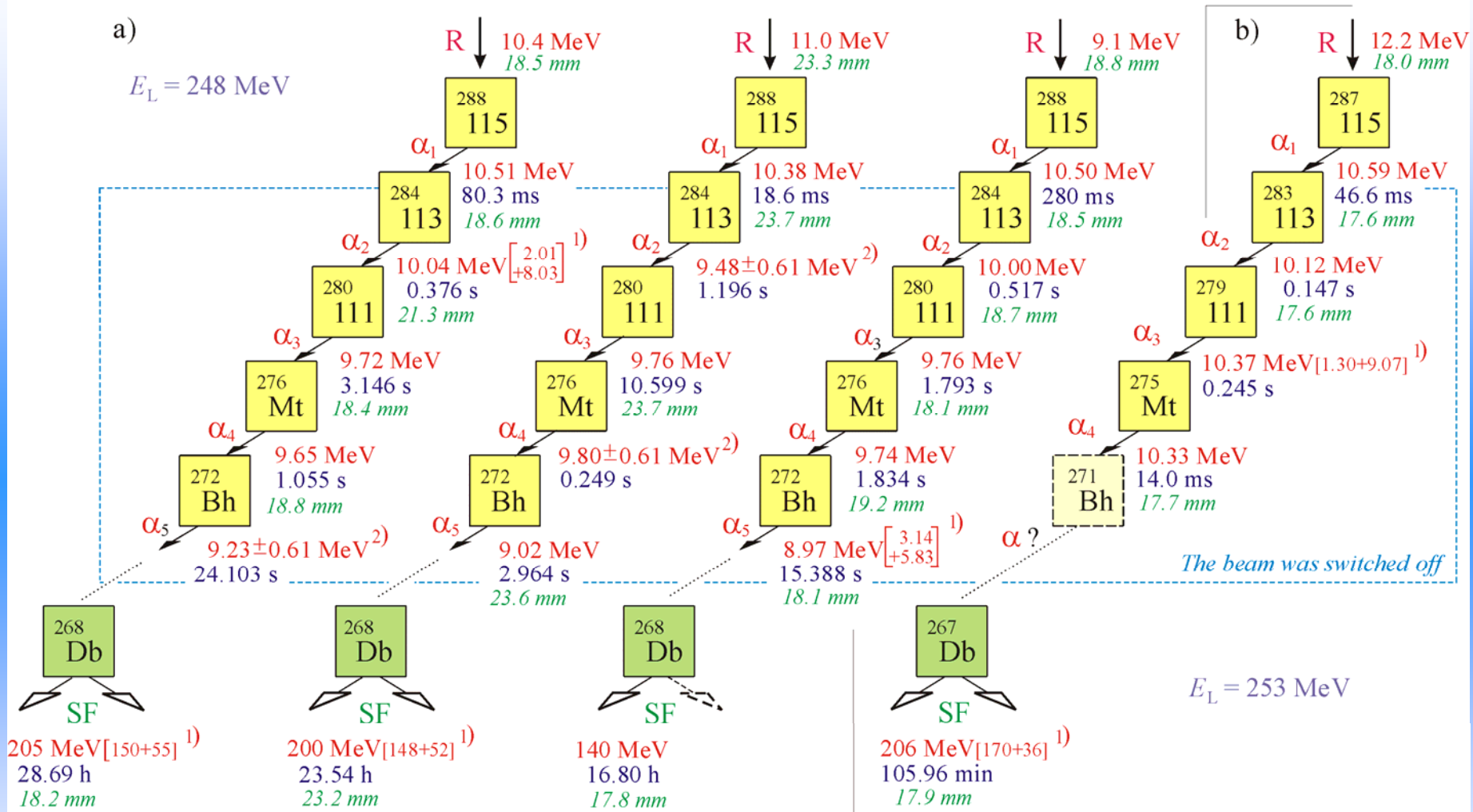


Neutron number







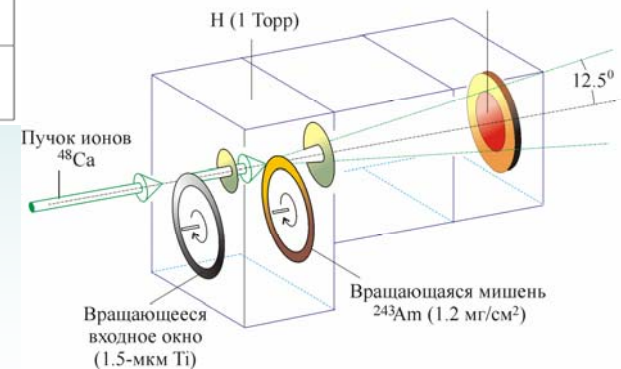
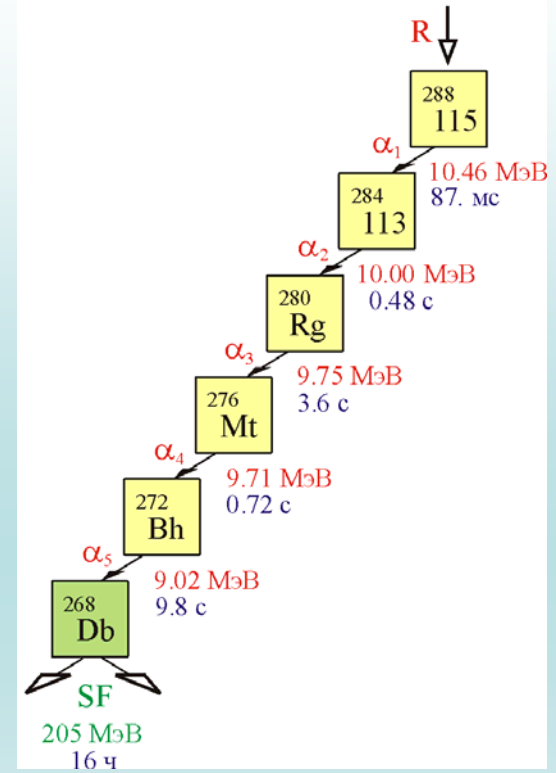


1) Energies of events detected by both the focal-plane and side detectors. 2) Energies of events detected by side detectors only.



Параметры и результаты экспериментов по синтезу ядер элемента 115 и химической идентификации спонтанно делящегося ядра.

| | “Физический” эксперимент | “Химический” эксперимент |
|--|--|--|
| Метод выделения | Кинематический сепаратор | Радиохимическое разделение |
| Эффективность сбора ядер отдачи | 35% | 80% |
| Метод регистрации | Цепочки распадов ядер с $Z=115$ | SF ядер с $Z=105$ |
| Энергия ионов ${}^{48}\text{Ca}$ в середине слоя мишени | 248 МэВ | 247 МэВ |
| Полная доза ионов ${}^{48}\text{Ca}$ | 4.3×10^{18} | 3.4×10^{18} |
| Толщина слоя мишени из ${}^{243}\text{Am}$ | 0.36 мг/см^2 | 1.2 мг/см^2 |
| Число зарегистрированных SF ядер | 3 | 15 |
| Сечение образования ядер с $Z=115$ | $2.7^{+4.8}_{-1.6}$ пб | $4.2^{+1.6}_{-1.2}$ пб |
| Период полураспада | 16^{+19}_{-6} ч | 32^{+11}_{-7} ч |
| Полная кинетическая энергия осколков спонтанного деления | ≈ 225 МэВ | ≈ 230 МэВ |
| Среднее число нейтронов на акт деления | – | 4.2 |
| Метод идентификации SF ядер | Измерение функций возбуждения ядер с $Z=115$ | Выделение элементов пятой группы ($Z=105$) |



$^{242}\text{Pu}(^{48}\text{Ca},xn)^{290-x}\text{114}$

| | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| $^{114}/_{286}$ 0.13 s 10.19 | $^{114}/_{287}$ 0.48 s 10.02 | $^{114}/_{288}$ 0.80 s 9.95 | $^{114}/_{289}$ 2.6 s 9.82 |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|

| | | | |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| $^{112}/_{282}$ 0.82 ms | $^{112}/_{283}$ 3.8 s 9.54 | $^{112}/_{284}$ 97 ms | $^{112}/_{285}$ 29 s 9.16 |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|

| |
|---------------------------------|
| Ds 279 0.20 s 9.70 |
|---------------------------------|

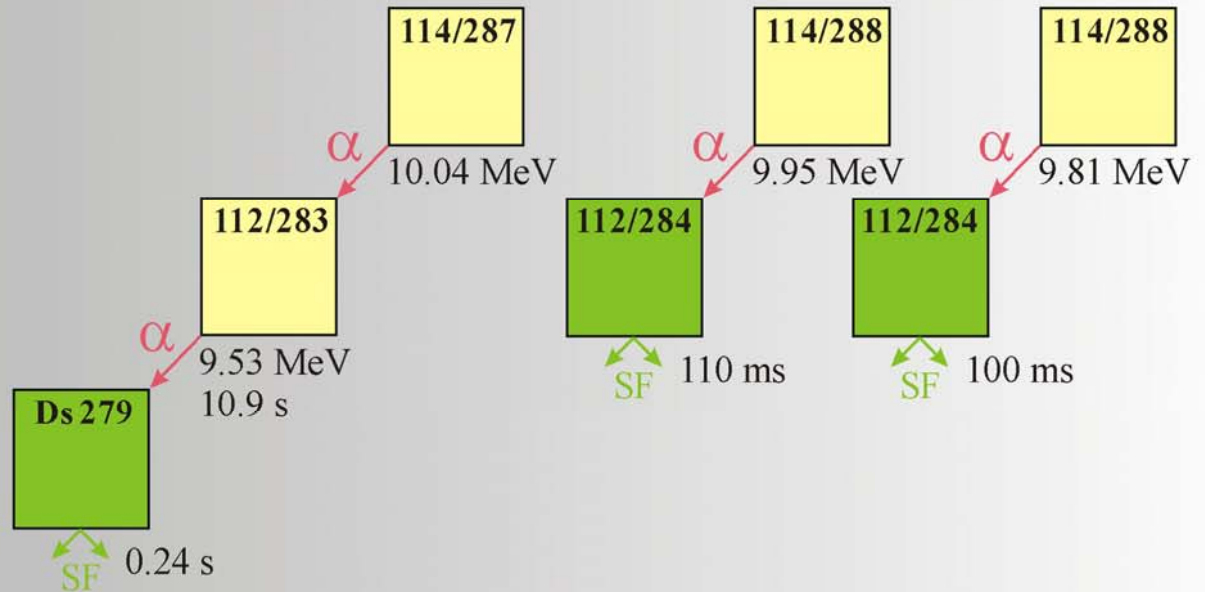
| |
|-----------------------|
| Ds 281 11 s |
|-----------------------|

S.N. Dmitriev et al.
TAN07

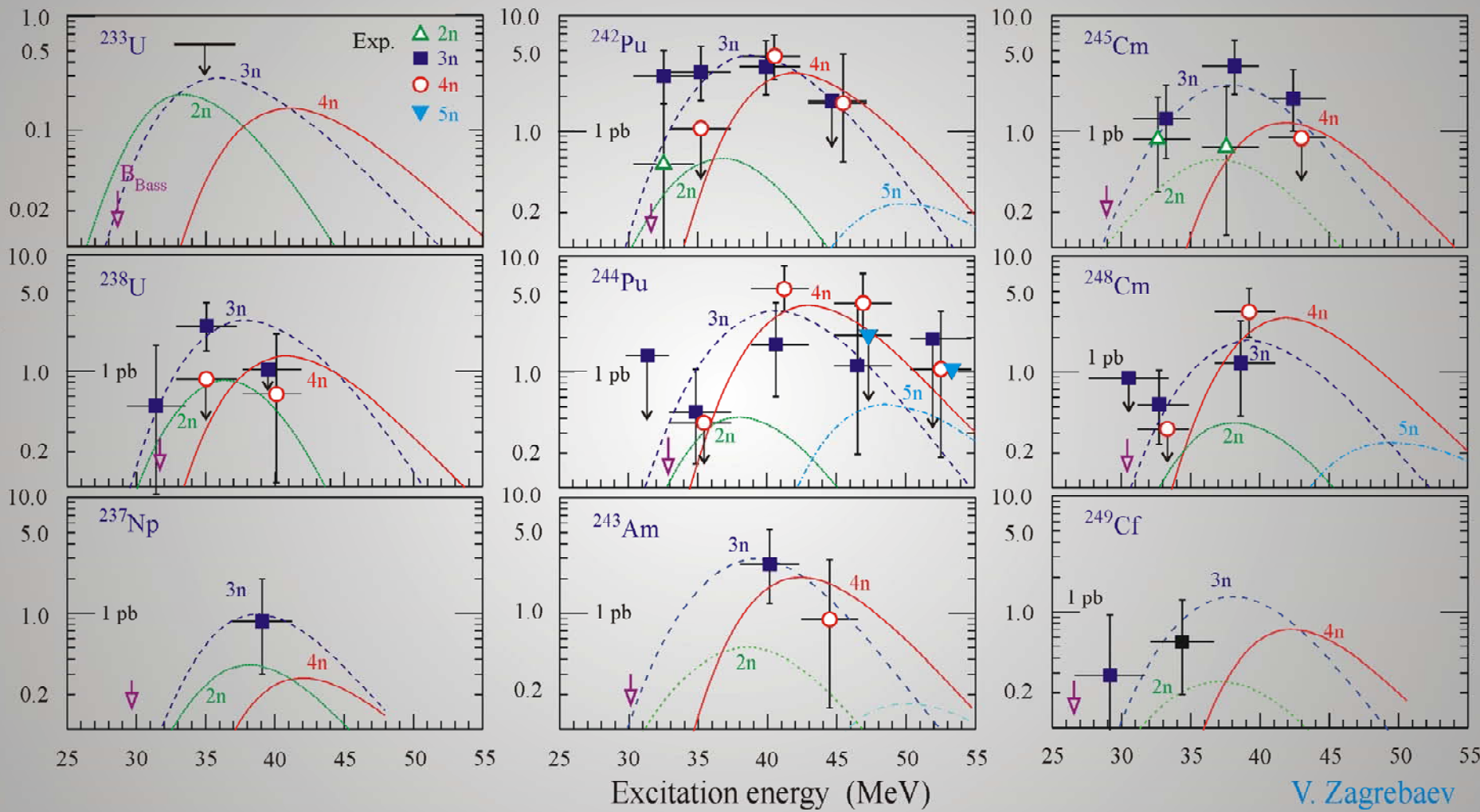
| |
|---------------------------------|
| Hs 275 0.19 s 9.30 |
|---------------------------------|

| |
|--------------------------------|
| Sg 271 1.9 m 8.54 |
|--------------------------------|

| |
|------------------------|
| Rf 267 1.3 h |
|------------------------|



Cross section (pb)



V. Zagrebaev

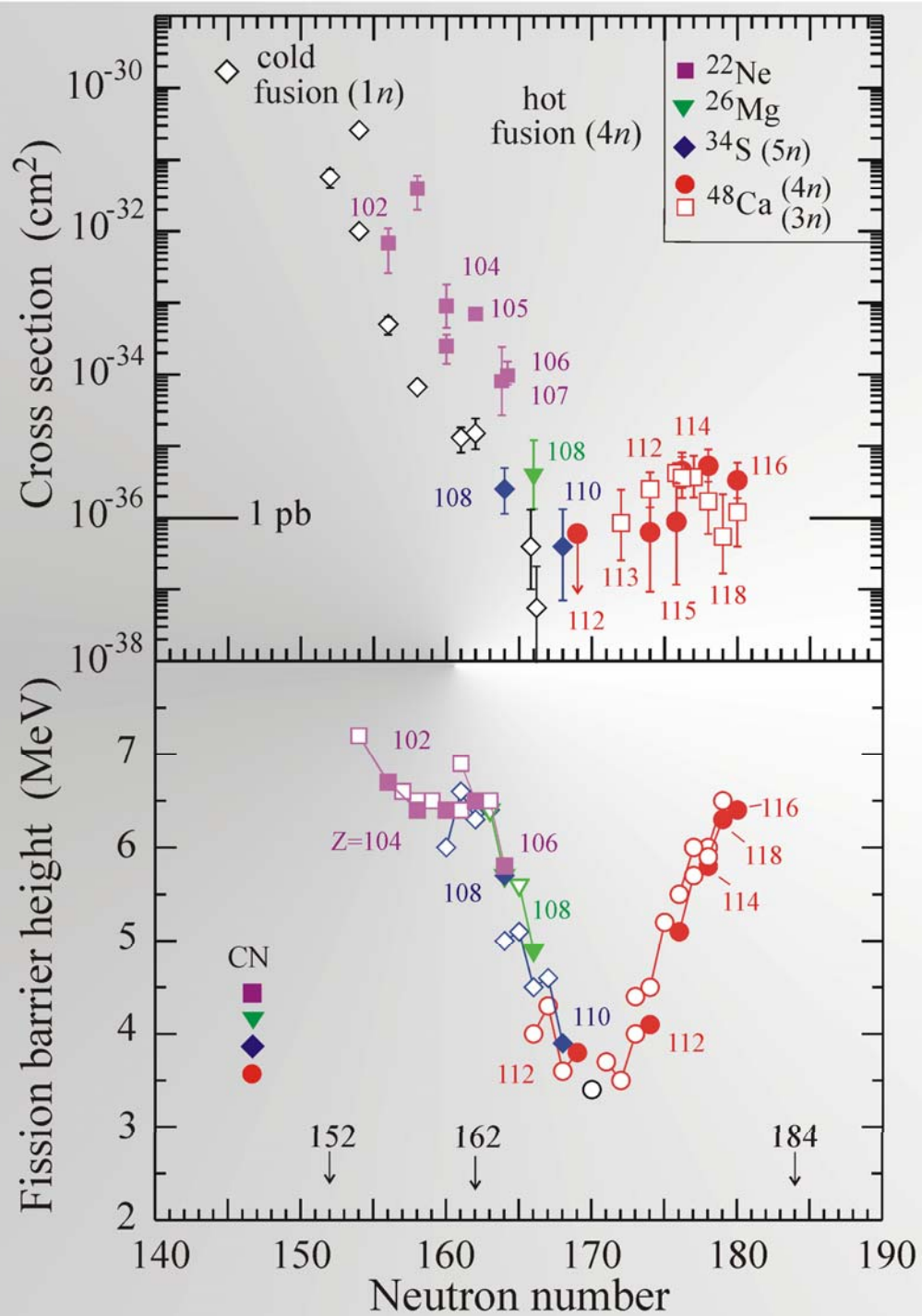
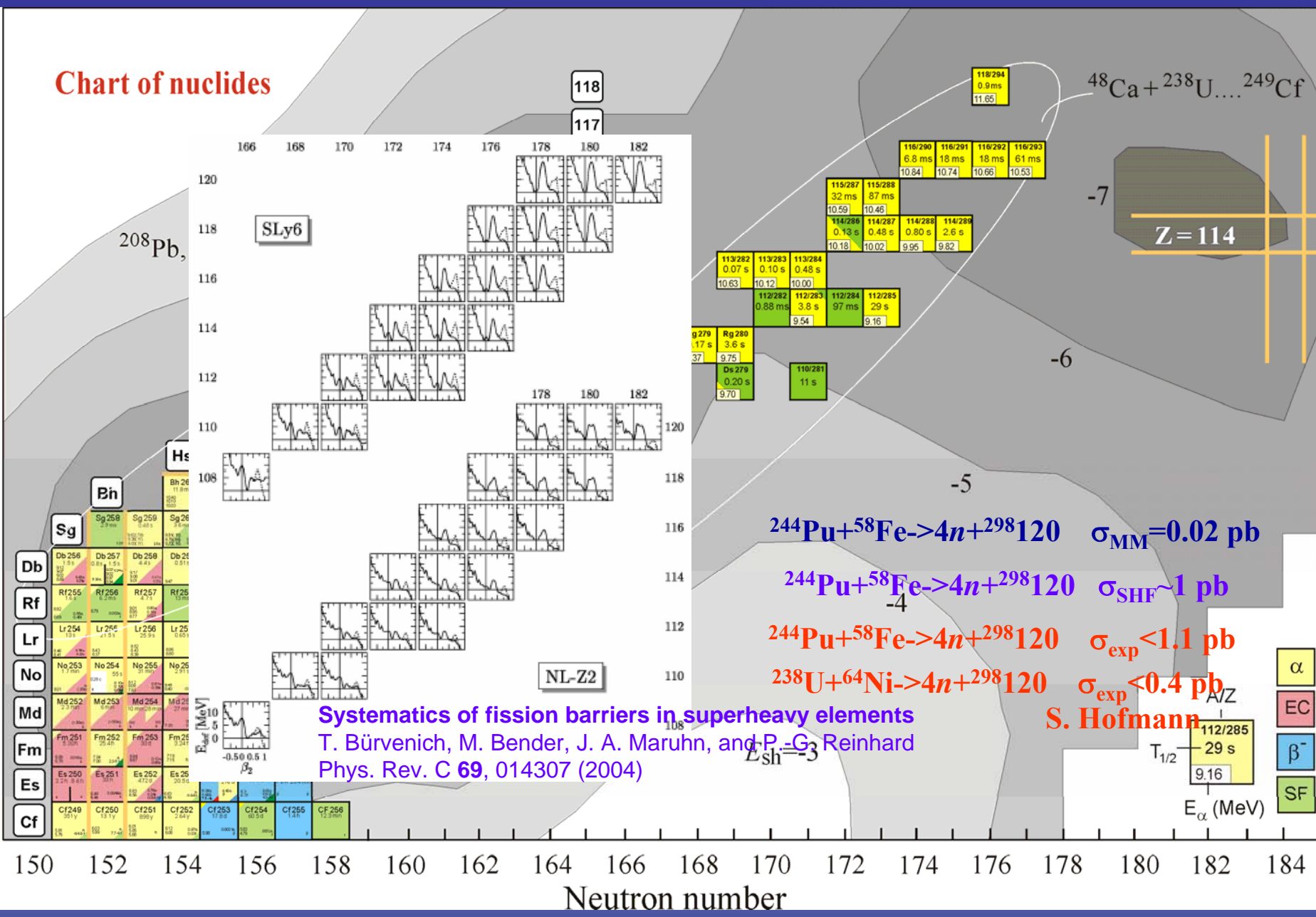


Chart of nuclides

Proton number



Systematics of fission barriers in superheavy elements
 T. Bürvenich, M. Bender, J. A. Maruhn, and P.-G. Reinhard
 Phys. Rev. C **69**, 014307 (2004)

$^{244}\text{Pu} + ^{58}\text{Fe} \rightarrow 4n + ^{298}120$ $\sigma_{\text{MM}} = 0.02 \text{ pb}$
 $^{244}\text{Pu} + ^{58}\text{Fe} \rightarrow 4n + ^{298}120$ $\sigma_{\text{SHF}} \sim 1 \text{ pb}$
 $^{244}\text{Pu} + ^{58}\text{Fe} \rightarrow 4n + ^{298}120$ $\sigma_{\text{exp}} < 1.1 \text{ pb}$
 $^{238}\text{U} + ^{64}\text{Ni} \rightarrow 4n + ^{298}120$ $\sigma_{\text{exp}} < 0.4 \text{ pb}$

S. Hofmann

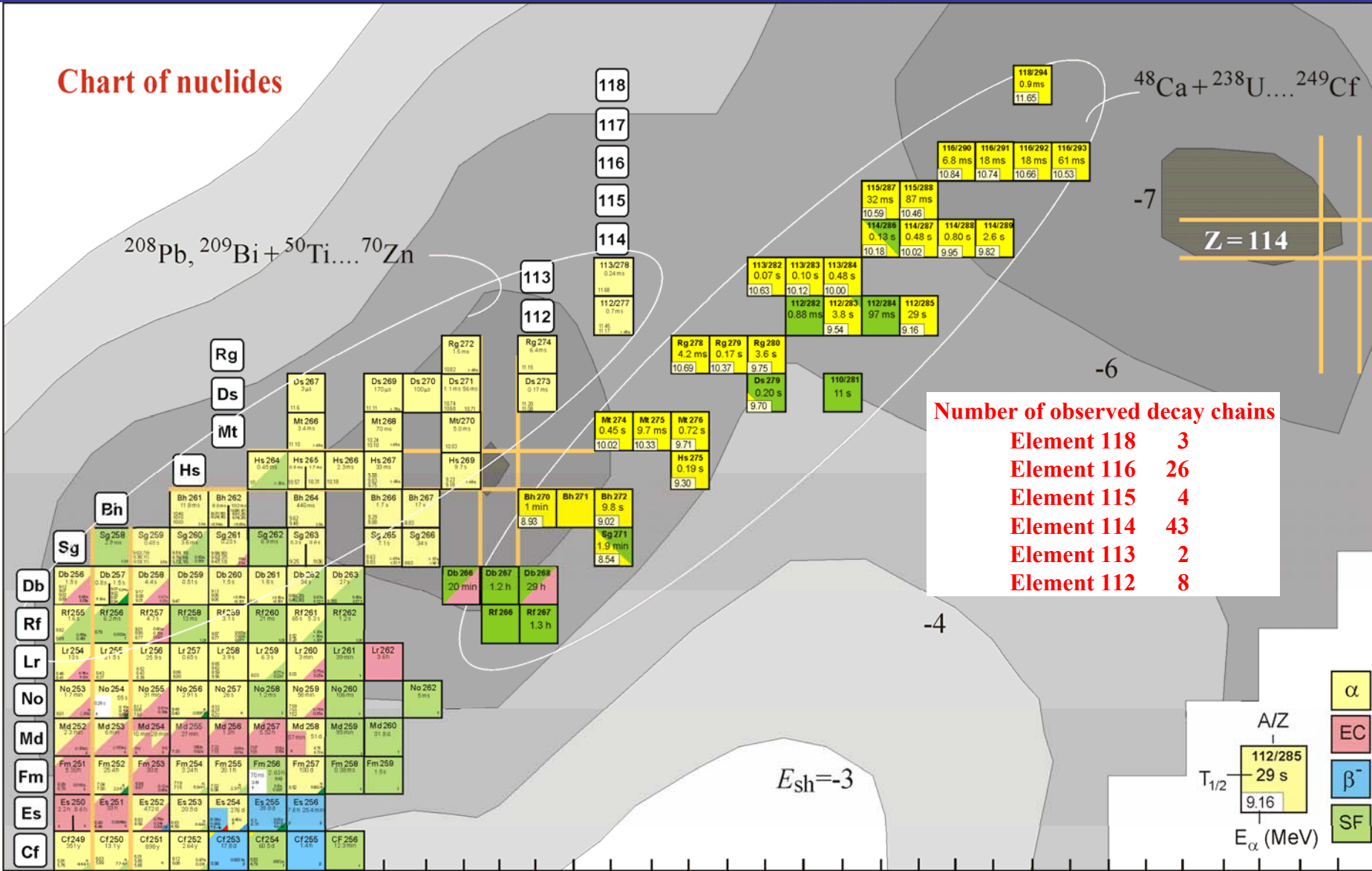
- α
- EC
- β⁻
- SF

$T_{1/2} = 29 \text{ s}$
 $E_{\alpha} = 9.16 \text{ MeV}$

Neutron number

Chart of nuclides

Proton number



$^{208}\text{Pb}, ^{209}\text{Bi} + ^{50}\text{Ti} \dots ^{70}\text{Zn}$

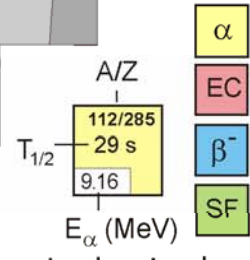
$^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U} \dots ^{249}\text{Cf}$

$Z = 114$

Number of observed decay chains

| | |
|--------------------|-----------|
| Element 118 | 3 |
| Element 116 | 26 |
| Element 115 | 4 |
| Element 114 | 43 |
| Element 113 | 2 |
| Element 112 | 8 |

$E_{sh} = -3$



150 152 154 156 158 160 162 164 166 168 170 172 174 176 178 180 182 184

Neutron number

Db

Rf

Lr

No

Md

Fm

Es

Cf

Rg

Ds

Mt

Hs

Bh

Sg

118

117

116

115

114

113

112

Rg

Ds

Mt

Hs

Bh

Sg

Db

Rf

Lr

No

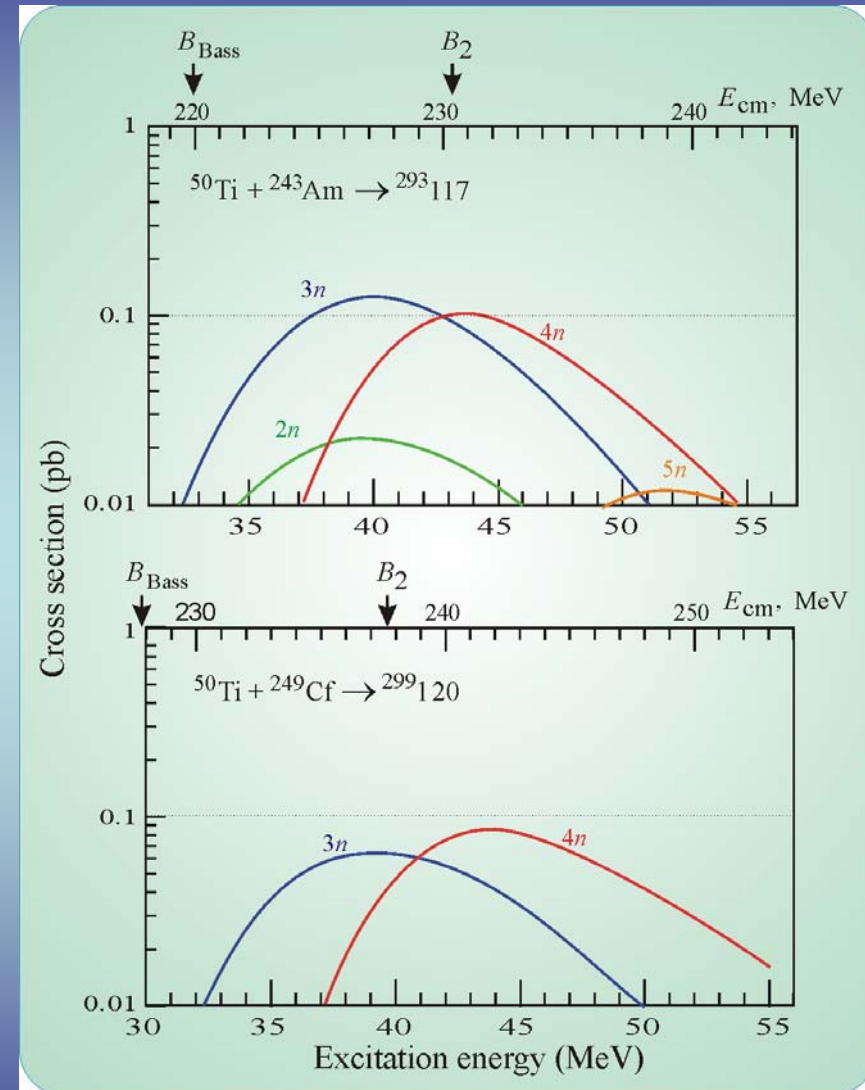
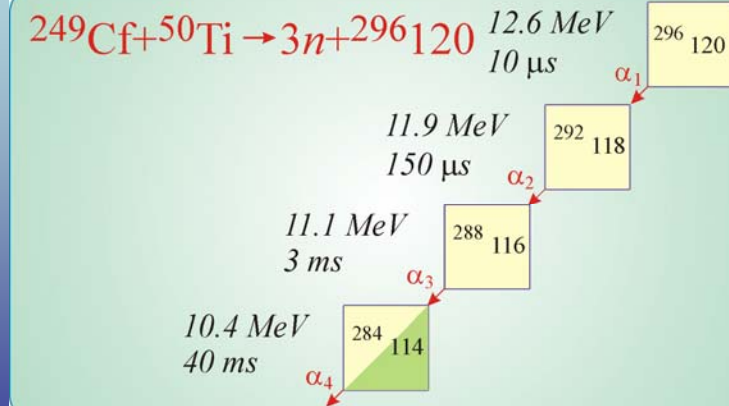
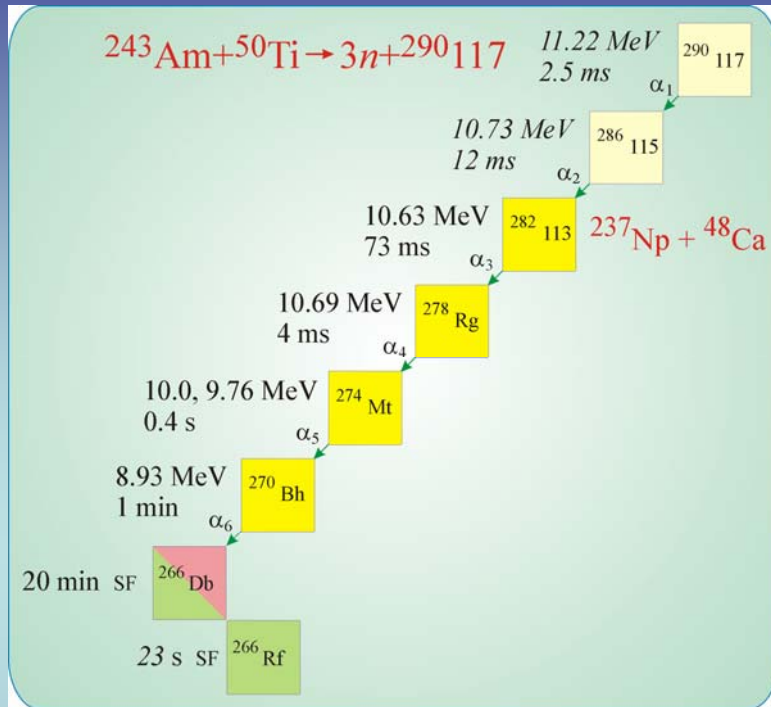
Md

Fm

Es

Cf

Future plans:

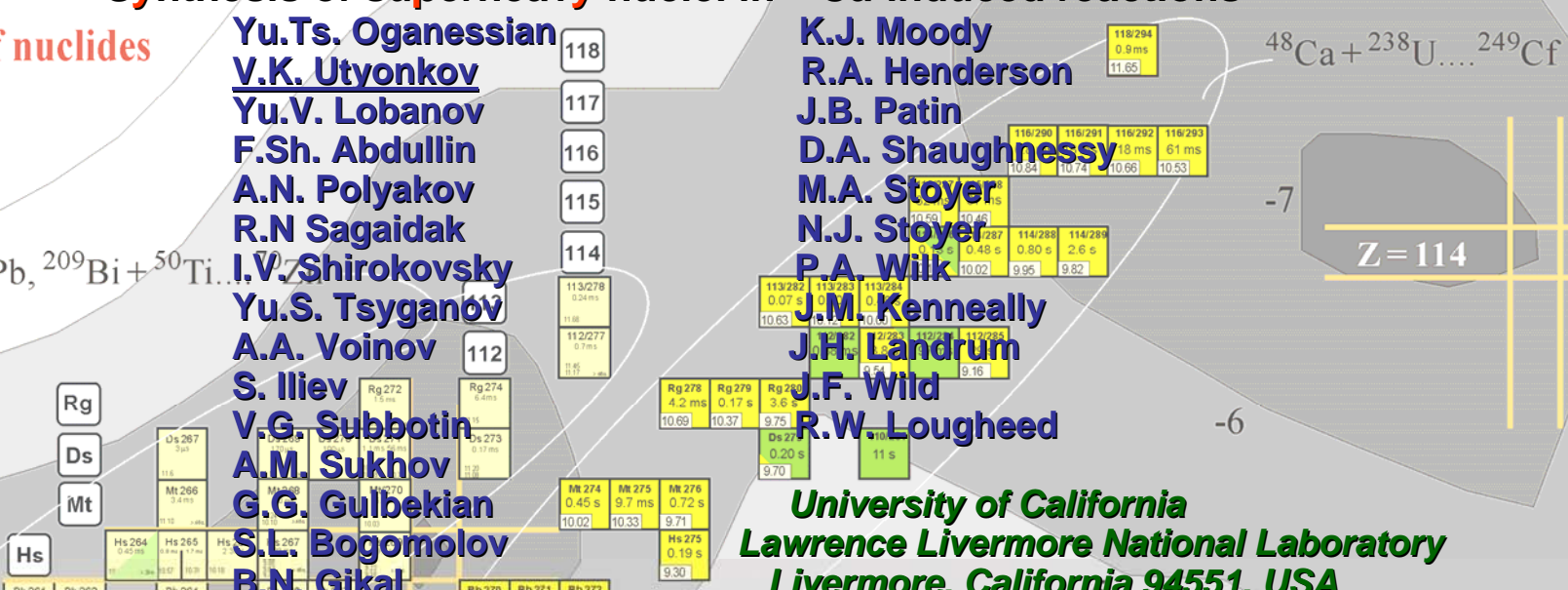


Synthesis of superheavy nuclei in ^{48}Ca -induced reactions

Chart of nuclides

$^{208}\text{Pb}, ^{209}\text{Bi} + ^{50}\text{Ti} \dots$

$^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U} \dots \rightarrow ^{249}\text{Cf}$



Yu.Ts. Oganessian

V.K. Utyonkov

Yu.V. Lobanov

F.Sh. Abdullin

A.N. Polyakov

R.N. Sagaidak

I.V. Shirokovskiy

Yu.S. Tsyganov

A.A. Voinov

S. Iliev

V.G. Subbotin

A.M. Sukhov

G.G. Gulbekian

S.L. Bogomolov

B.N. Gikal

A.N. Mezentsev

K. Subotic

V.I. Zagrebaev

M.G. Itkis

*Joint Institute for Nuclear Research
141980 Dubna, Russian Federation*

K.J. Moody

R.A. Henderson

J.B. Patin

D.A. Shaughnessy

M.A. Stoyer

N.J. Stoyer

P.A. Wilk

J.M. Kenneally

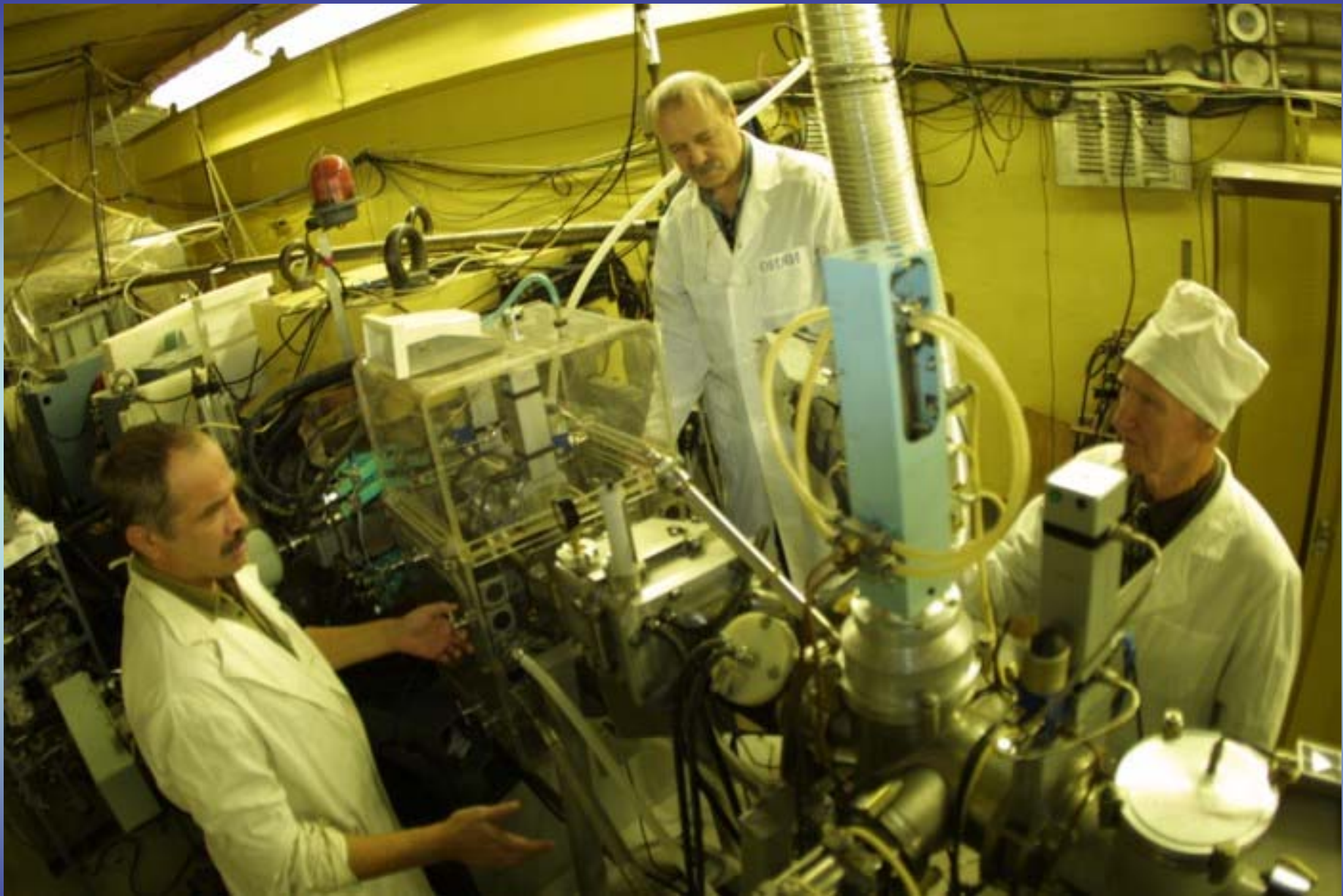
J.H. Landrum

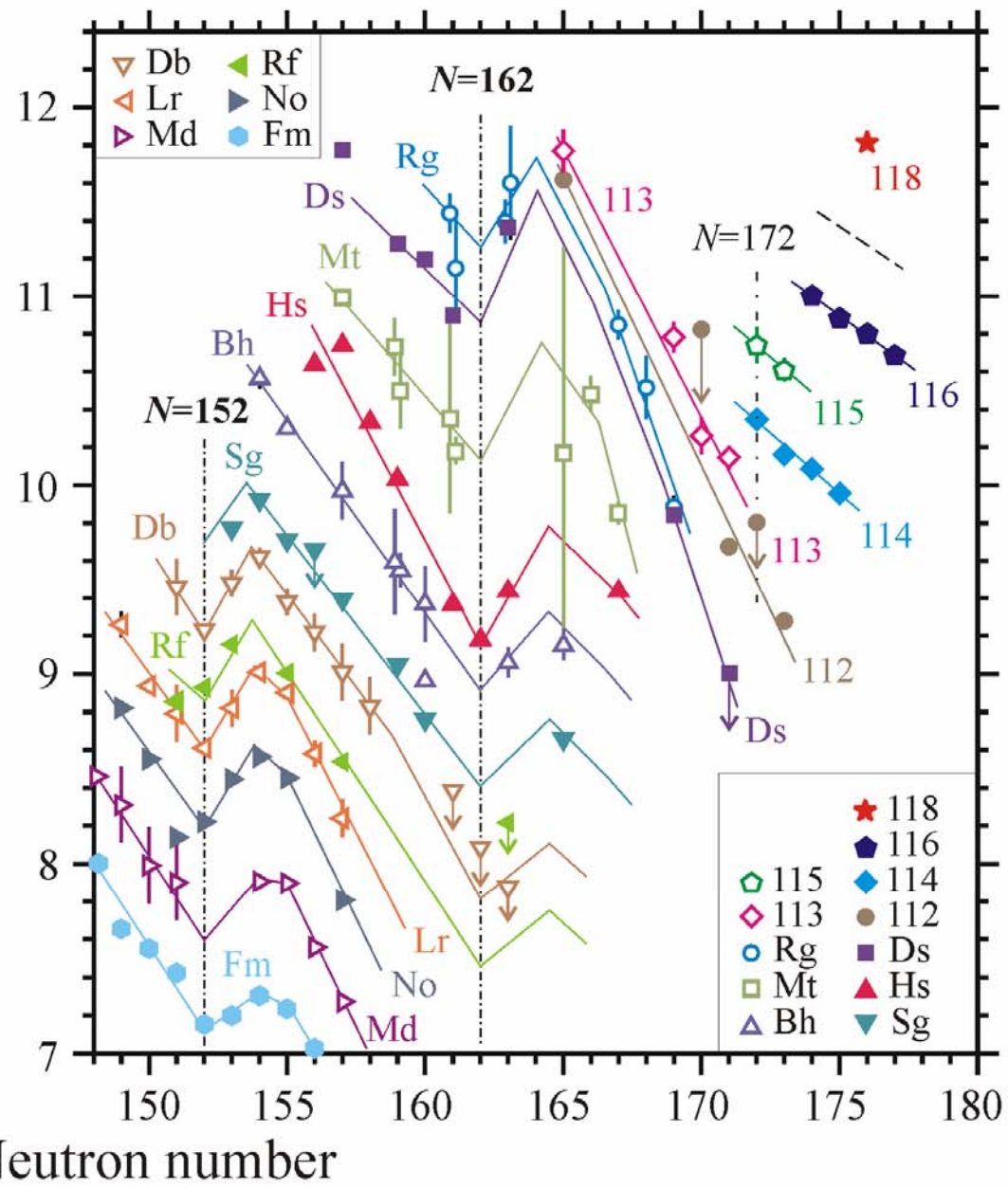
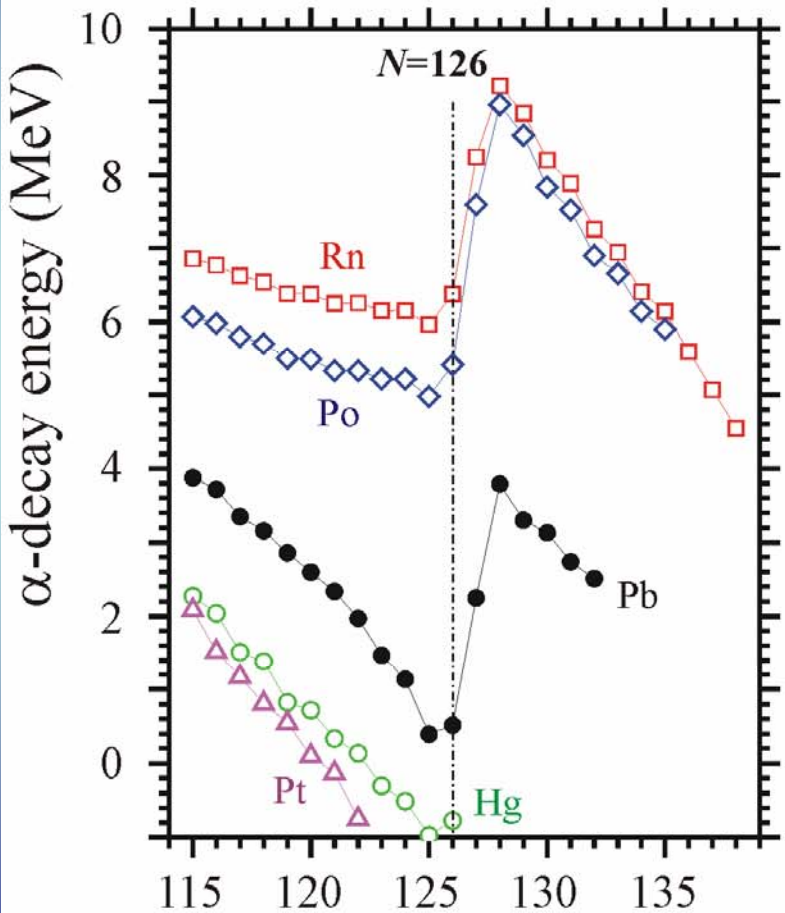
J.F. Wild

R.W. Loughheed

**University of California
Lawrence Livermore National Laboratory
Livermore, California 94551, USA**







• Заключение

- Синтезированы два новых элемента Таблицы Д.И. Менделеева с атомными номерами 113 и 115. Впервые в одном эксперименте получены изотопы сразу двух сверхтяжелых элементов: изотопы элемента 113 с массами 284 и 283 наблюдались после α -распада материнских ядер $^{288}\text{115}$ и $^{287}\text{115}$. Более легкий изотоп элемента 113 с массой 278 ($T_{1/2} \approx 2 \times 10^{-3}$ с) был получен в RIKEN (Япония) с сечением примерно в 100 раз меньшим, чем изотоп $^{288}\text{115}$ на год позже, после проведения данных экспериментов, а также химической идентификации атомного номера нуклида ^{268}Db .
- Определены свойства α -распада 9 новых изотопов тяжелых элементов с числом протонов от 107 до 115 (^{272}Bh , $^{275,276}\text{Mt}$, $^{279,280}\text{Rg}$, $^{283,284}\text{113}$ и $^{287,288}\text{115}$), а также двух спонтанно делящихся нуклидов ^{267}Db и ^{268}Db .
- Измеренные радиоактивные свойства ядер элементов с нечетным числом протонов 105-115 в совокупности со свойствами ядер с четным числом протонов 104-118 позволяют идентифицировать атомные и массовые числа всех нуклидов, синтезированных в реакциях слияния ядер от ^{238}U до ^{249}Cf с ионами ^{48}Ca . Атомные номера синтезированных ядер были подтверждены в химических экспериментах.
- На основании свойств распада сверхтяжелых ядер $^{279,280}\text{Rg}$, $^{283,284}\text{113}$ и $^{287,288}\text{115}$ доказано существование сильного стабилизирующего эффекта оболочки с $N=184$. Сравнение радиоактивных свойств изотопов $^{278}\text{113}$ ($N=165$) и $^{284}\text{113}$ ($N=171$) показывает, что более близкое расположение ядра к $N=184$ приводит к падению энергии α -распада на 1.7 МэВ и соответствующему повышению периода полураспада в 260 раз. Изотопы ^{272}Rg ($T_{1/2}=3.0$ мс), ^{274}Rg ($T_{1/2}=15$ мс) и ^{280}Rg ($T_{1/2}=3.6$ с) демонстрируют аналогичное повышение стабильности ядер с ростом числа нейтронов.
- Доказано существование нейтронной оболочки с $N=162$ на примере радиоактивных свойств ядер $^{267,268}\text{Db}$, ^{272}Bh и $^{275,276}\text{Mt}$. Сопоставление энергий α -распада и времен жизни новых изотопов с $N \geq 162$ со свойствами распада более легких изотопов тех же элементов демонстрирует излом в изменении энергий α -распада ядер и существенное повышение их стабильности при приближении к оболочке с $N=162$.
- На основании энергии α -распада изотопов $^{287,288}\text{115}$, как и изотопов элементов 114 и 112 доказано слабое влияние или полное отсутствие предсказанной в некоторых моделях нейтронной оболочки с $N=172$.
- Эксперименты по синтезу элемента 115 в реакции $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, 3-4n)^{287,288}\text{115}$ проведены при двух энергиях ионов ^{48}Ca для наблюдения двух изотопов $^{287}\text{115}$ и $^{288}\text{115}$ и их дочерних ядер. Измерены сечения $3n$ и $4n$ каналов реакции полного слияния $^{243}\text{Am}+^{48}\text{Ca}$, которые хорошо согласуются с данными, полученными для реакций ионов ^{48}Ca с ядрами ^{238}U - ^{249}Cf .
- Свойства распада изотопов новых нуклидов, вместе с ядрами более легких и более тяжелых элементов, синтезированных в реакциях с ионами ^{48}Ca , являются прямым экспериментальным доказательством существования области сверхтяжелых элементов, существенно расширяющей границы стабильности наиболее тяжелых атомных ядер.