

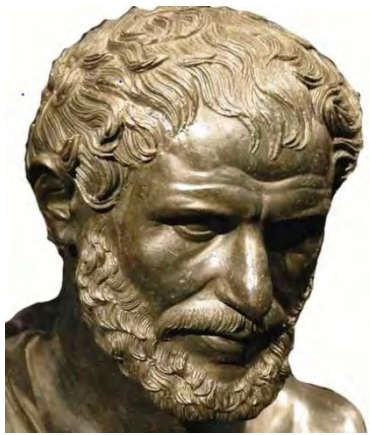
Тяжеловесы в Таблице Менделеева

акад. Юрий Оганесян

**Лаборатория Ядерных реакций им. Г.Н. Флерова
Объединенный Институт Ядерных Исследований**

Дубна, Московская область, 141980 РФ

**Школа по информационным технологиям
6-10 октября 2025 г., ОИЯИ, Дубна**



За более чем 22 столетия
от Демокрита (460 - 371 д.н.э)
до Дальтона (1766 - 1844)

считалось, что все окружающие
нас объекты состоят из мельчайших неделимых
частиц - **атомов** - взаимодействующих друг с другом.

«Строительные кирпичи -
молекулы - суть сложные построения
различных атомов в различных
пропорциях»

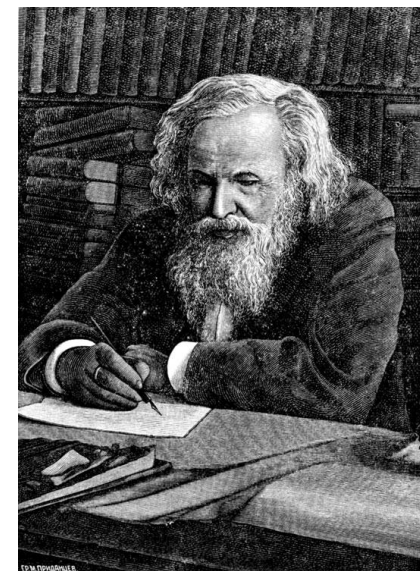
36 элементов были известны в это время



John Dalton 1808

Одна из первых Таблиц Д.И. Менделеева

	Г р у п п ы				Э л е м е н т ы				
Ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
0	Водород								
1	Литий Li 7,00	Бериллий Be 9,1							
2	Натрий Na 23,00	Магний Mg 24,36	Алюминий Al 27,1	Силиций Si 28,2	Фосфор P 31,0	Сера S 32,06	Хлор Cl 35,45		
3	Калий K 39,1	Кальций Ca 40,1	Стронций Sr 87,6	Иттрий Y 89,0	Цирконий Zr 90,6	Никель Ni 58,7	Медь Cu 63,6	Цинк Zn 65,4	
4	Рубидий Rb 85,5	Сtrontий Sr 87,6	Иттрий Y 89,0	Цирконий Zr 90,6	Никель Ni 58,7	Медь Cu 63,6	Цинк Zn 65,4		
5	Серебро Ag 107,93	Кадмий Cd 112,4	Индий In 113,0	Олово Sn 119,0	Сурьма Sb 120,2	Теллур Te 127	Йод I 127		
6	Золото Au 197,0	Ртуть Hg 200,6	Таллий Tl 204,4	Свинец Pb 207,2	Висмут Bi 209	Полоний Po 210	Актиний Ac 227		
7									
8									
9									
10									
11									
12									



Dmitri Mendeleev
1869

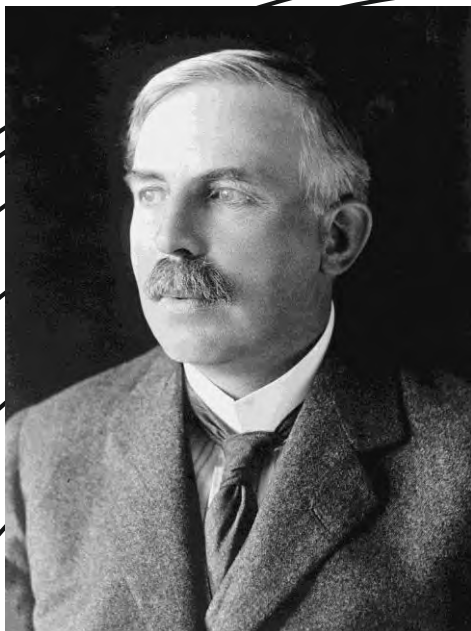
63 химических элементов было известно к этому времени

Менделеевская Таблица (1869) показала, что химические свойства элементов регулярно повторяются с увеличением их веса (атомного номера) элементов.

Из этого следовало что:

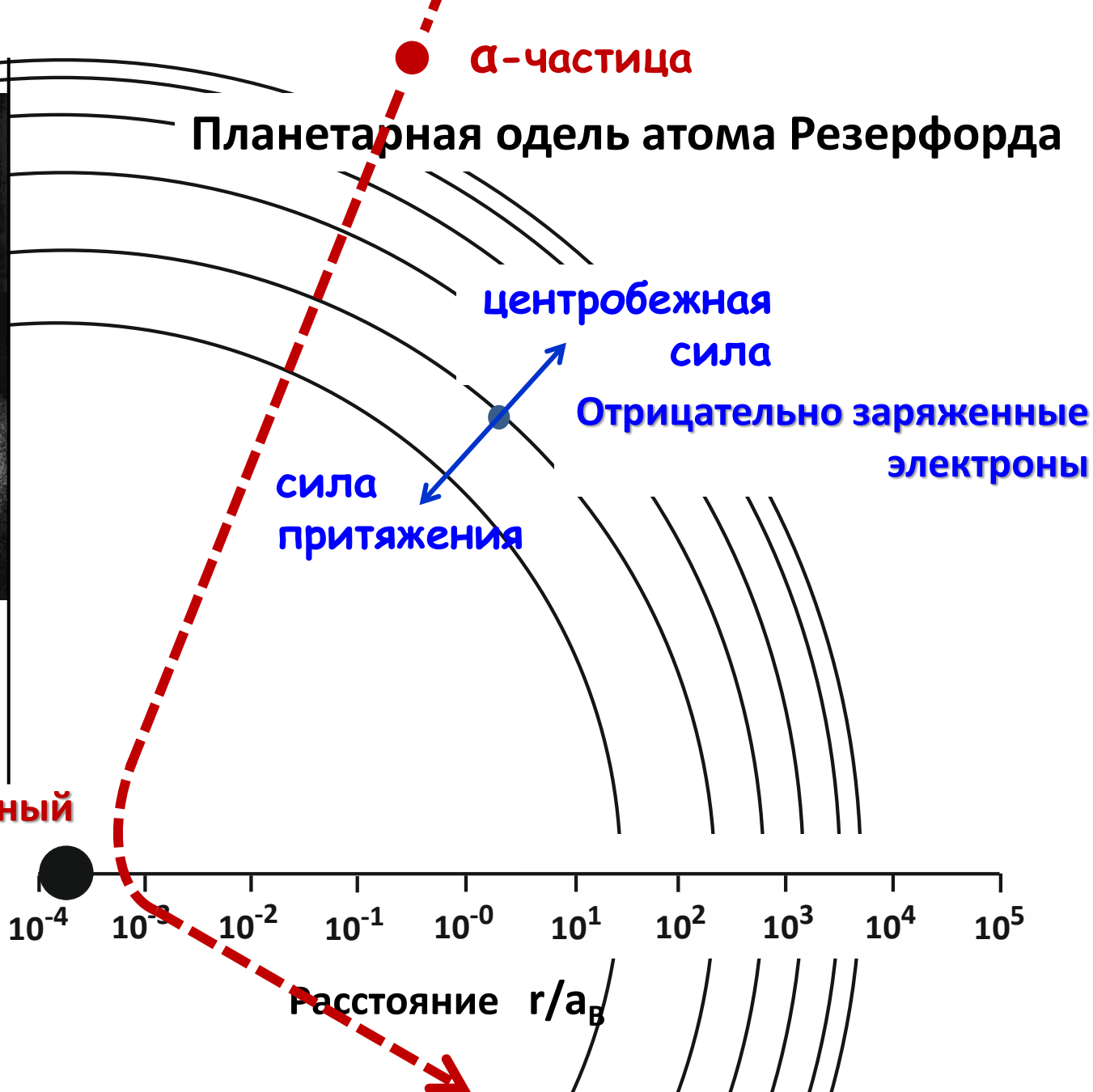
**атомы не элементарные
«строительные кирпичики»**

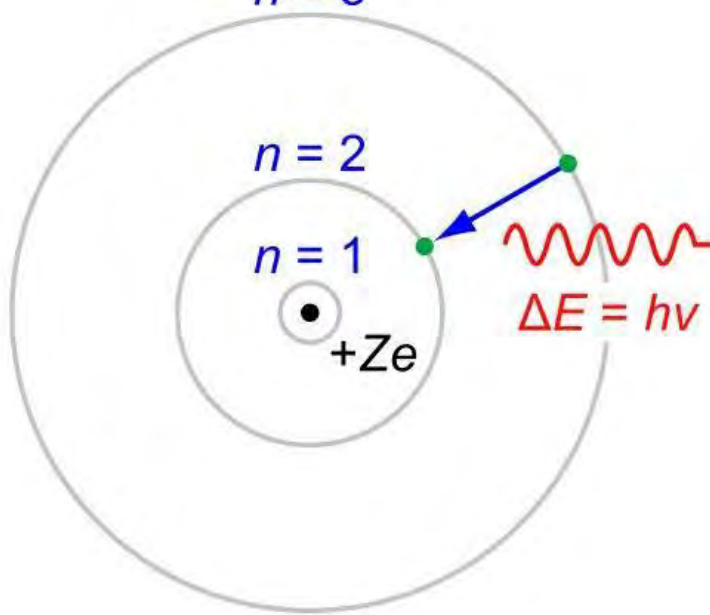
Они сами имеют сложную
внутреннюю структуру.



Ernest Rutherford
March 7, 1911

Положительный
заряд ядра





$$r_n = n^2 a_B / Z \quad (n=1,2,3 \dots)$$

for $n=1$ and $Z=1$:

$$R_1 = a_B = 0.529 \cdot 10^{-8} \text{cm} = 0.5 \text{ \AA}$$

$$v_1 = 1/137 \cdot c = 2.2 \cdot 10^8 \text{cm/s}$$

$$\epsilon_1 = 13.6 \text{ eV}$$



Bohr's postulates:

- Electrons in atoms move in stable orbits around the nucleus
- The electrons move in these orbits without radiating energy
- Electrons can only move from one allowed orbit to another by jumping, which involves the absorption or emission of energy

quantization of motion

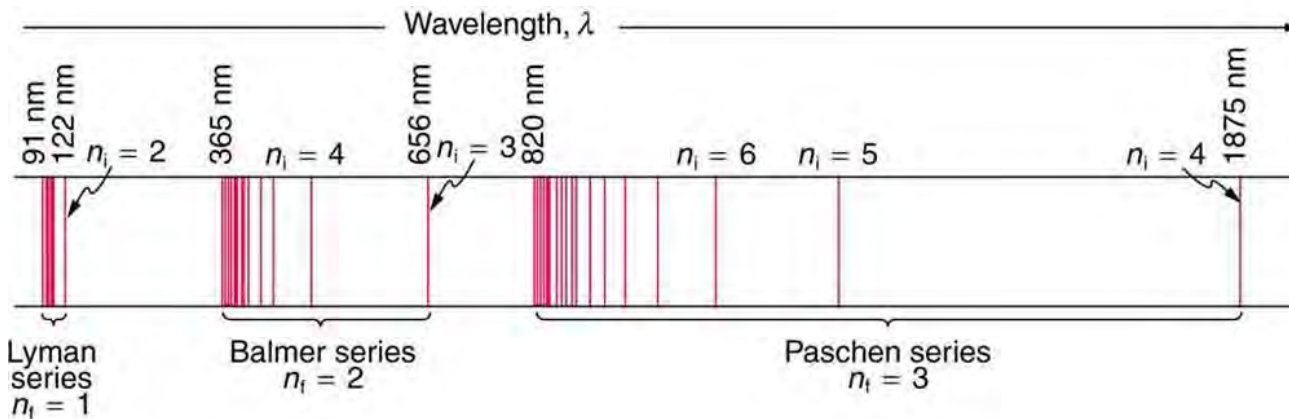
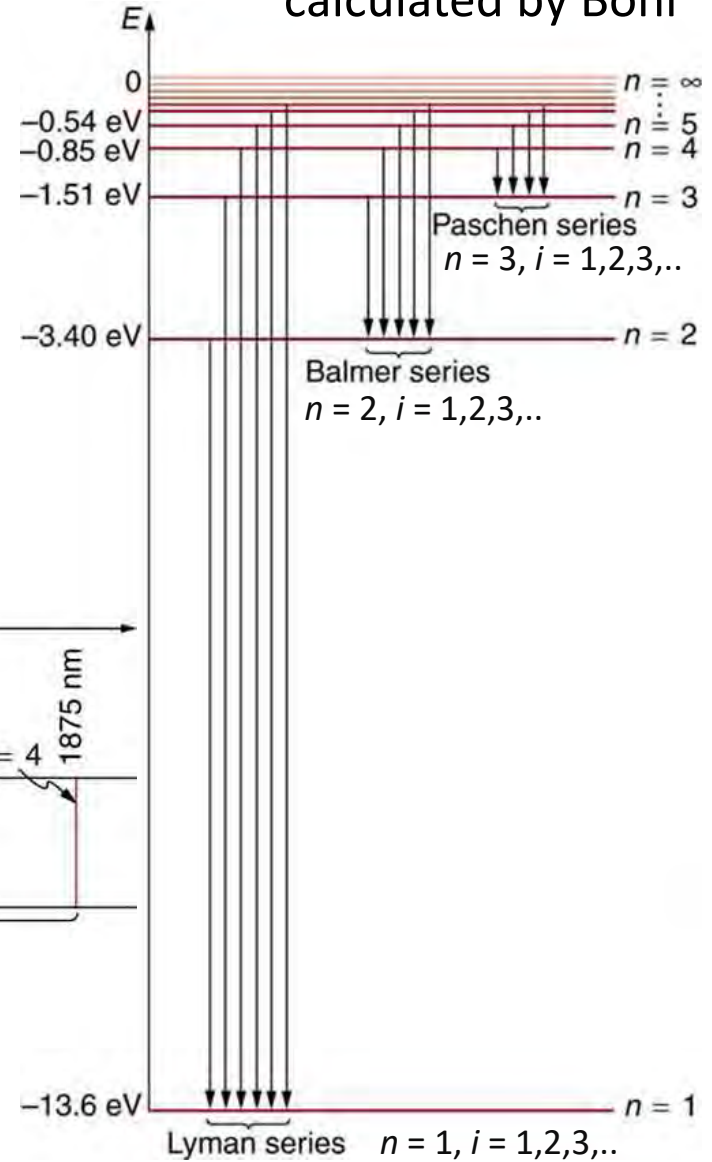
Rydberg's constant:

$$1/\lambda = R(1/n^2 - 1/i^2)$$

$$R_H = 109677.583407 \text{ cm}^{-1}$$

Энергетические уровни водорода
и
серии переходов между ними

The orbital energies are
calculated by Bohr



Nov. 2013



В попытках описать свойства ядерной материи, Георгий Антонович Гамов, предположил, что атомное ядро может быть подобно капле положительно заряженной жидкости

Но плотность ядерной жидкости
в 10^{15} раз выше, чем у воды.



George Gamow 1928

Ядерная Модель
Заряженной Жидкой Капли

Г. Гамов, 1928 г.

Ядерное деление

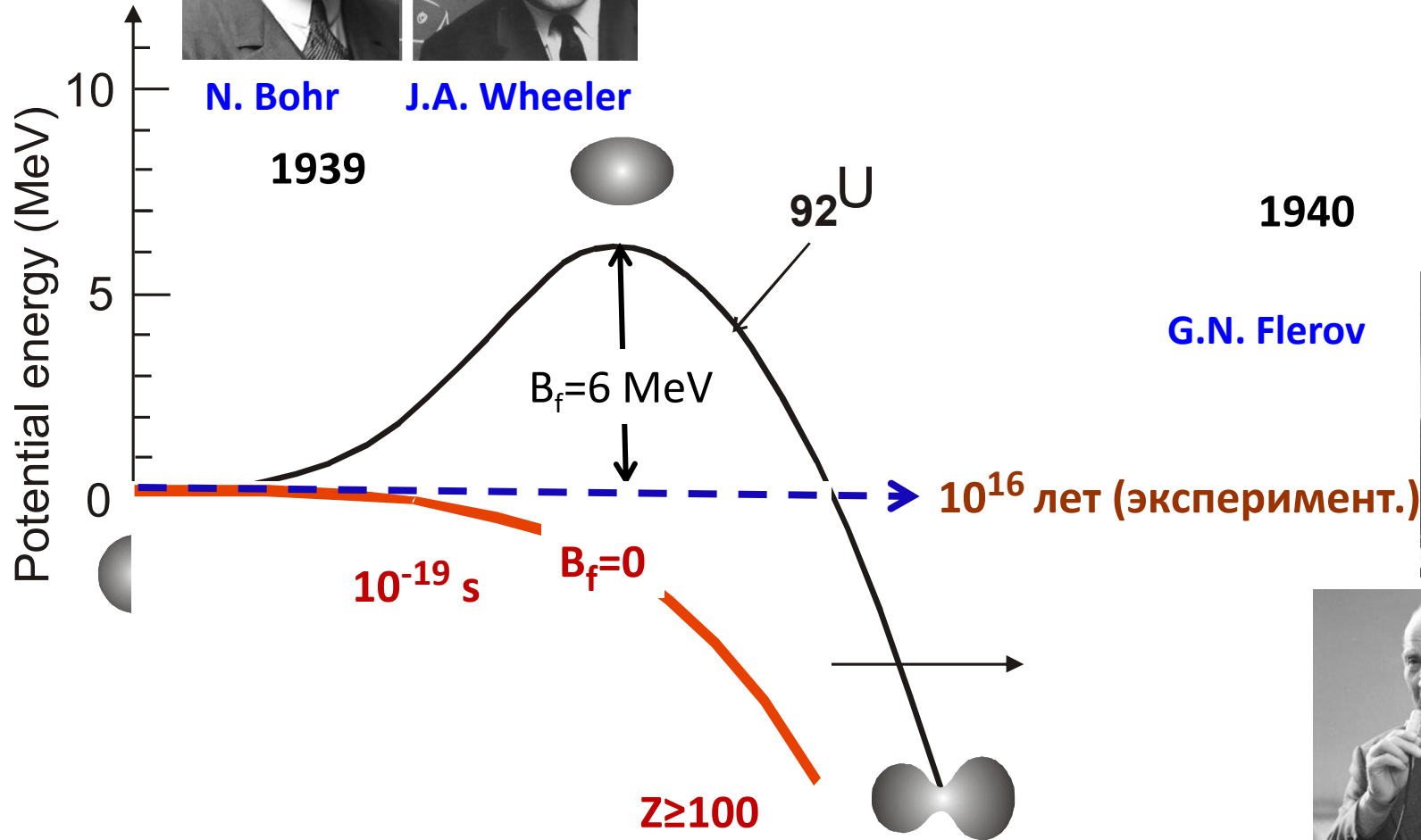


N. Bohr



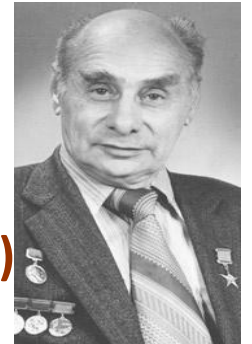
J.A. Wheeler

1939

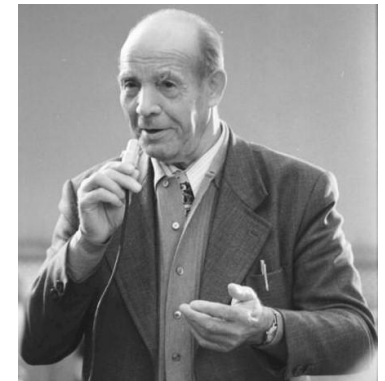


1940

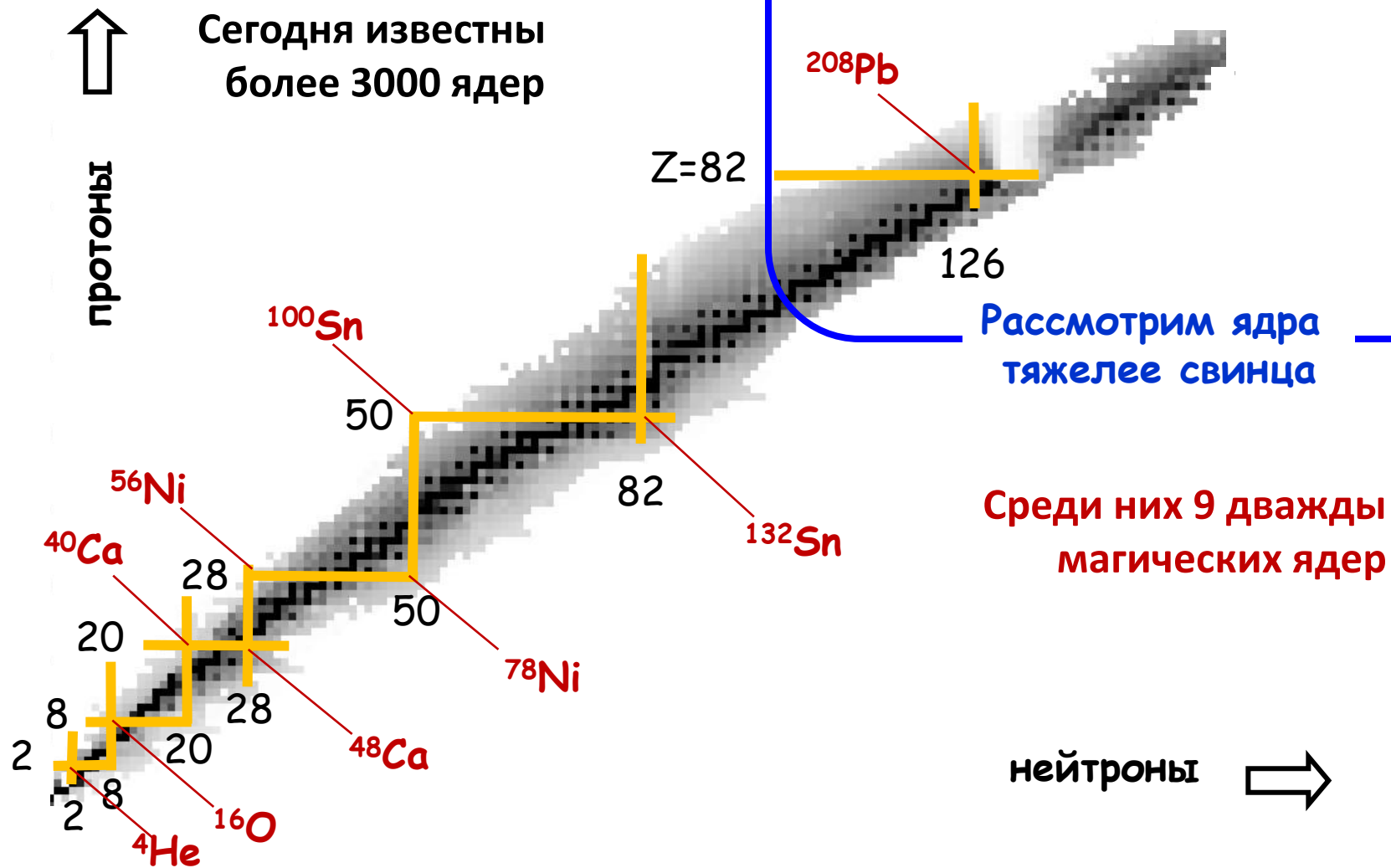
G.N. Flerov



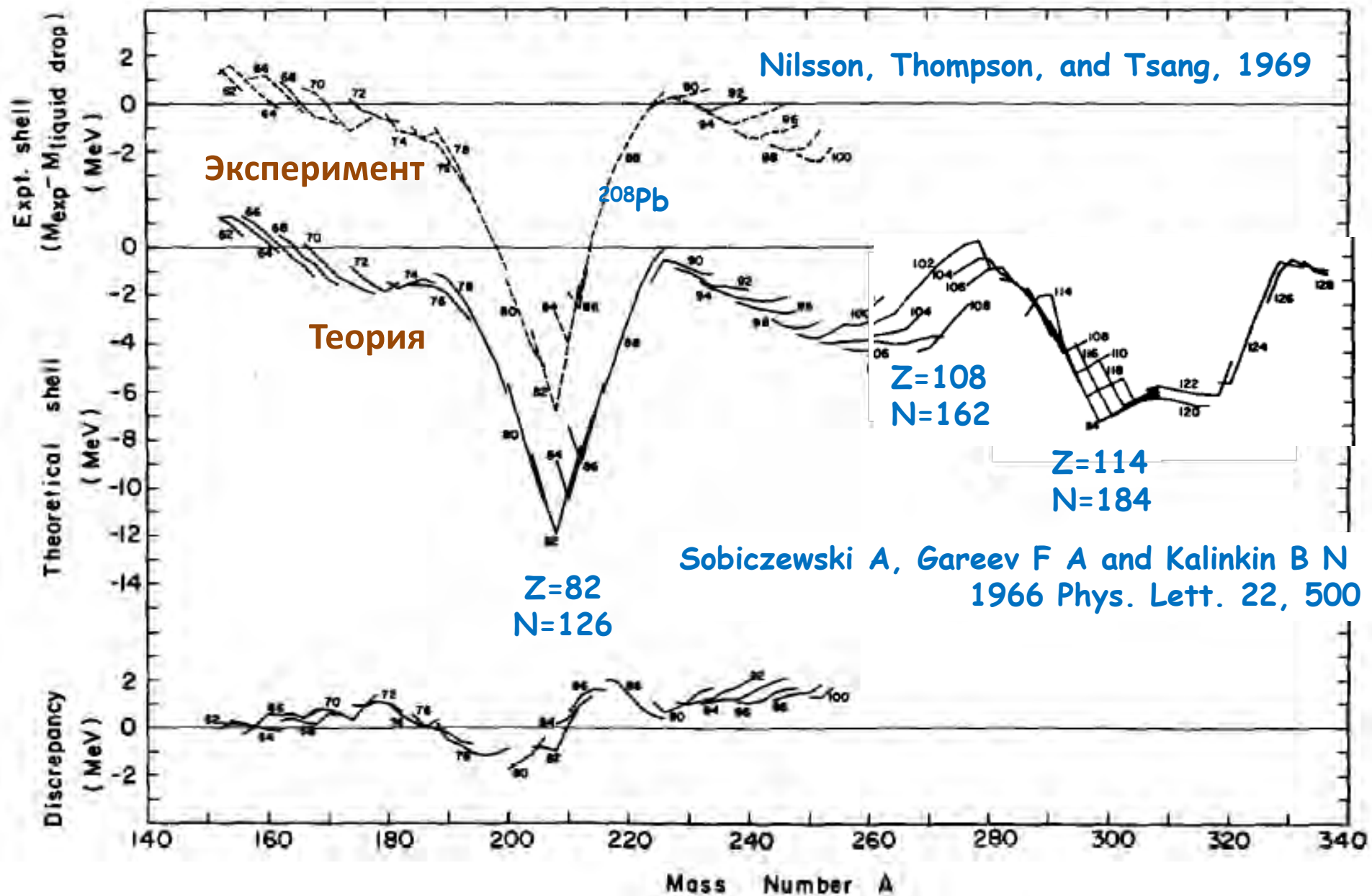
K.A. Petrzhak



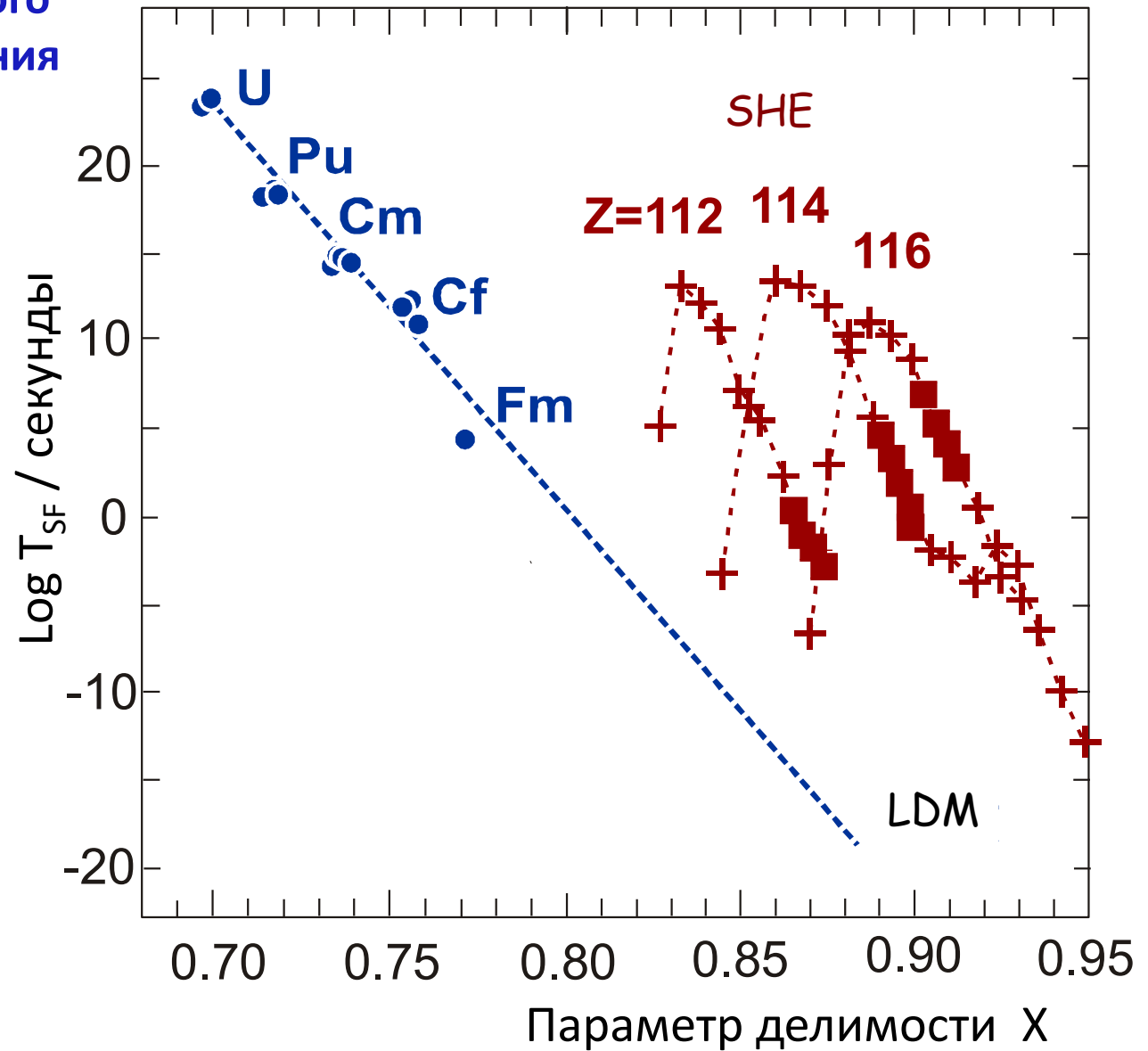
Ядерные оболочки и «магические числа»

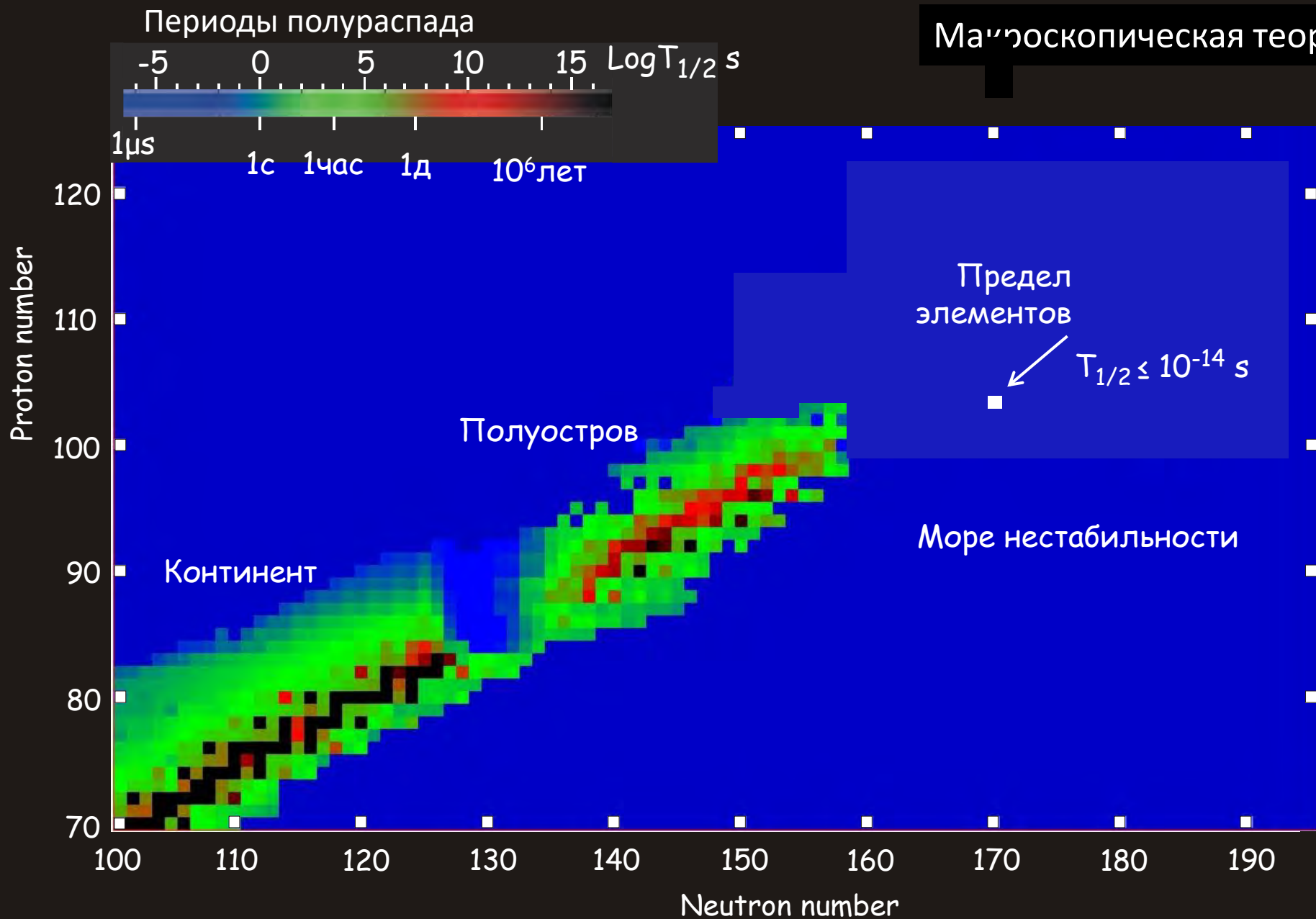


Эффект оболочек в ядрах (дефект масс)



Периоды спонтанного деления

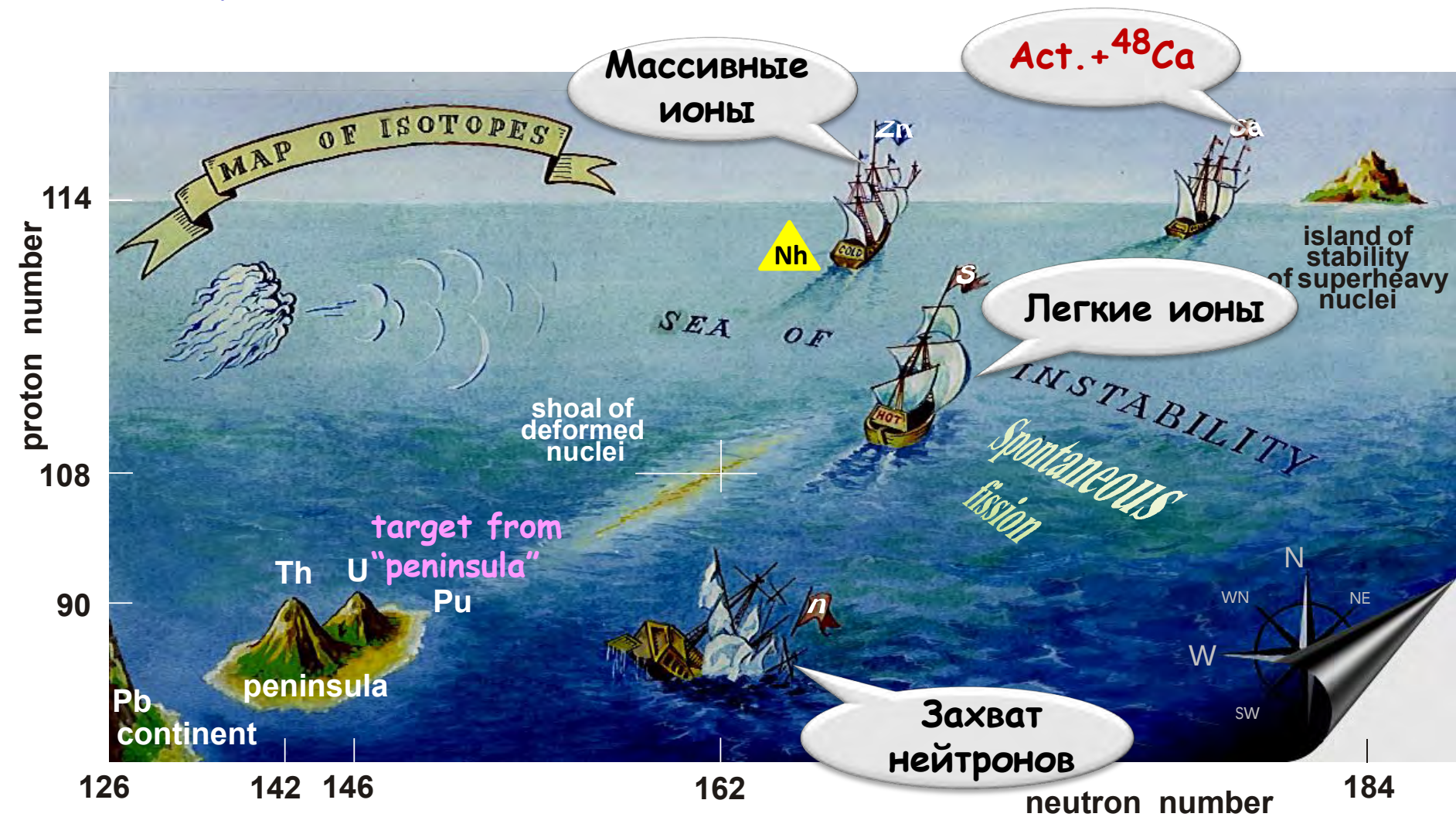




К сожалению, все попытки найти или синтезировать сверхтяжелые элементы не дали результатов.

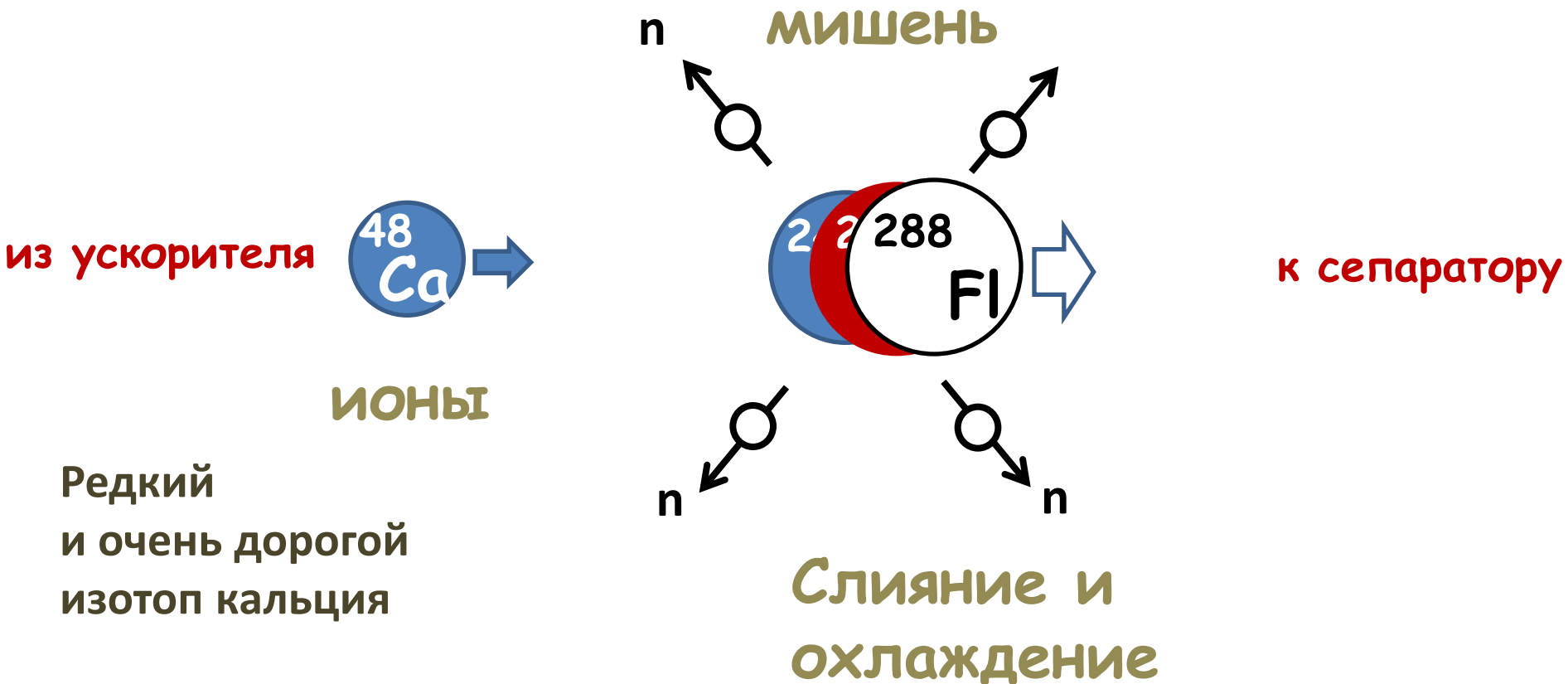
Проблема искусственного синтеза сверхтяжелых элементов лежит в способе получения этих элементов

Реакции синтеза



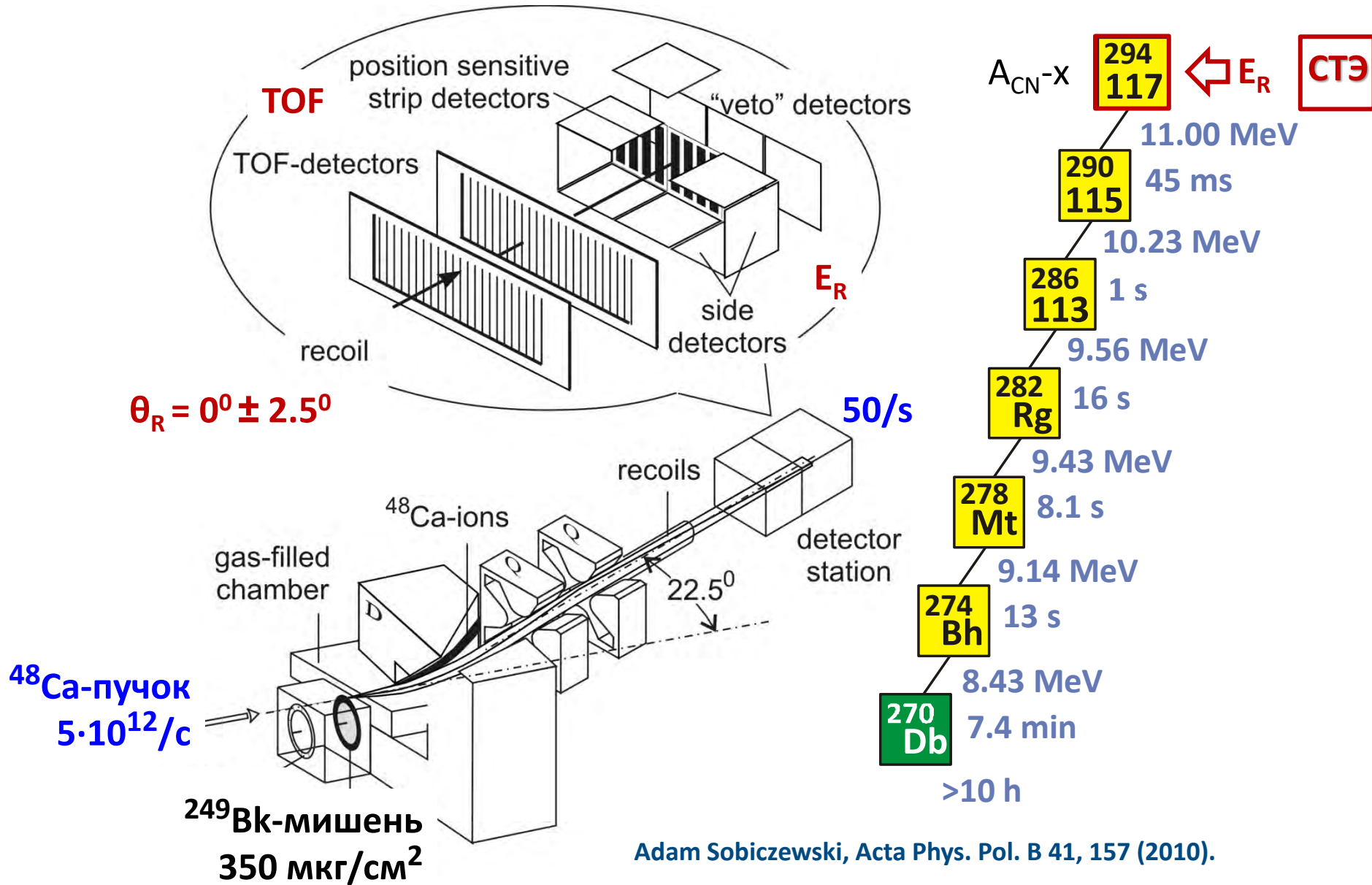
Реакция синтеза

Искусственный элемент наработанный в
высокопоточном ядерном реакторе



Сепараторы СТЭ серии DGFRS

Dubna Gas-Filled Recoil Separator



an Article from | **SCIENTIFIC
AMERICAN**

JANUARY 2000 VOL. 282 NO. 1

2000

Voyage to SUPERHEAVY Island



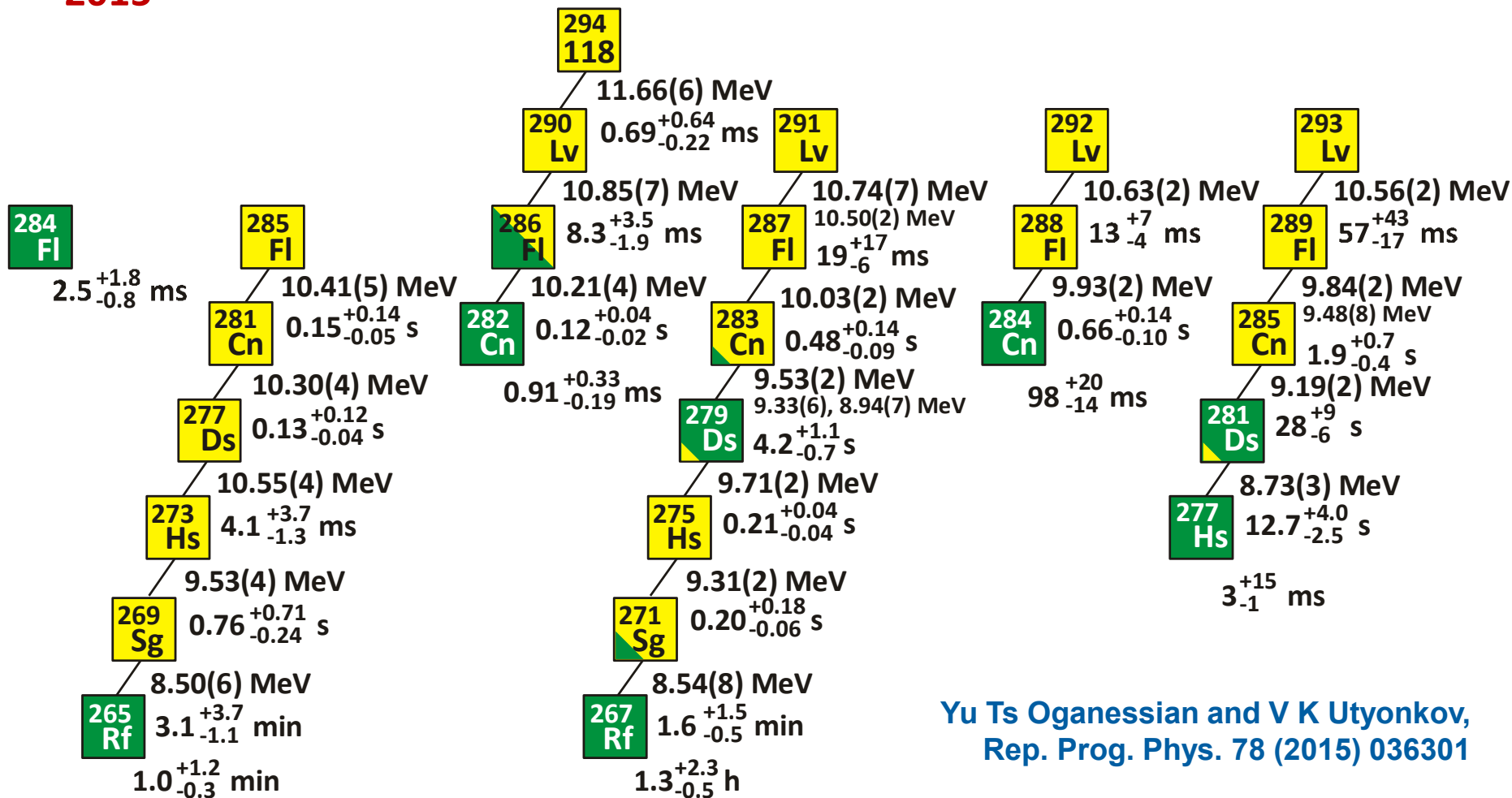
The synthesis of element 114 confirmed decades-old theoretical predictions of a little patch of nuclear stability in a sea of short-lived superheavy nuclei

by Yuri Ts. Oganessian, Vladimir K. Utyonkov and Kenton J. Moody

Изотопы с четными атомными номерами

Summary decay properties of the Z-even isotopes observed in ^{238}U , $^{240,242,244}\text{Pu}$, $^{245,248}\text{Cm}$ and $^{249}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca}$ reactions

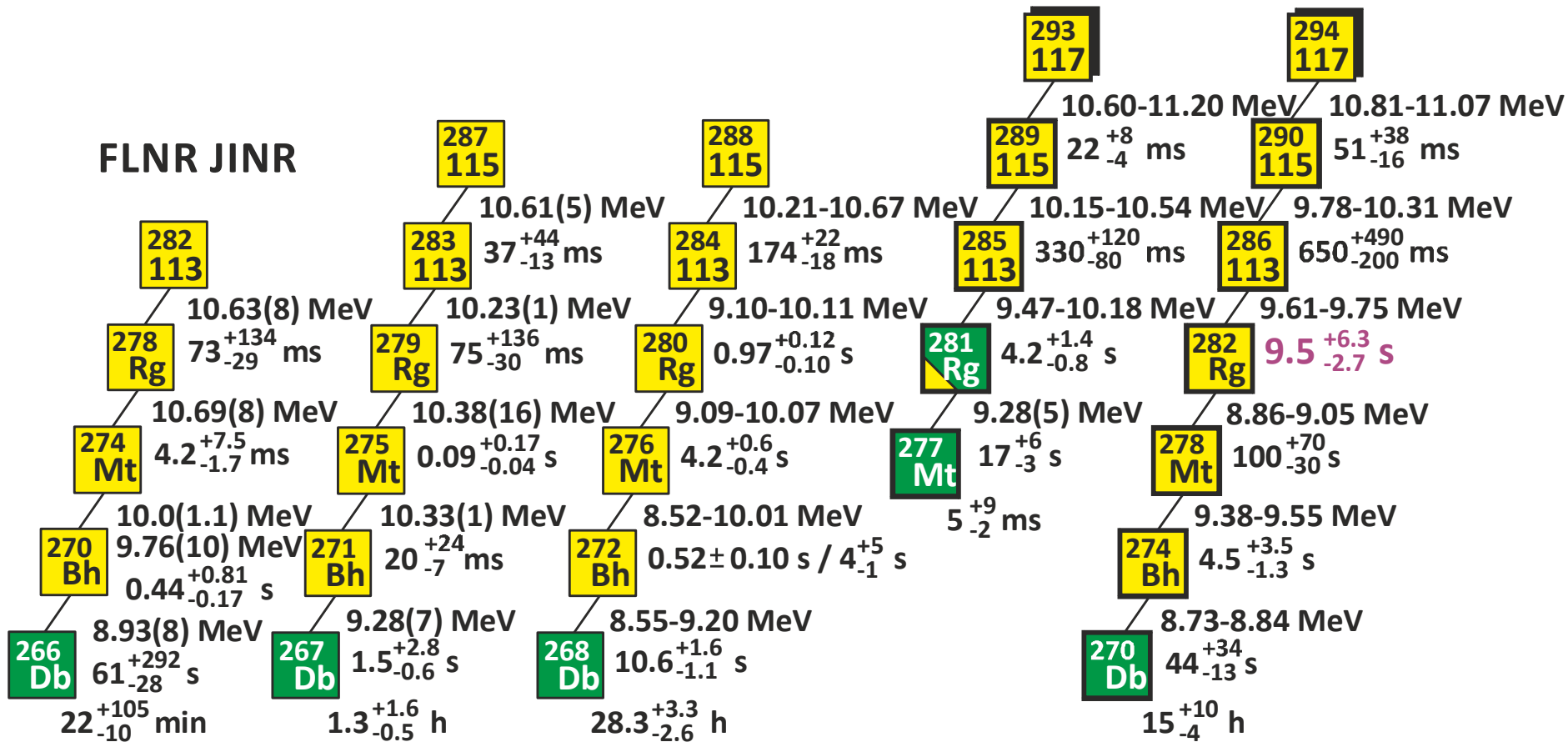
2015



Yu Ts Oganessian and V K Utyonkov,
Rep. Prog. Phys. 78 (2015) 036301

Z-нечетные изотопы

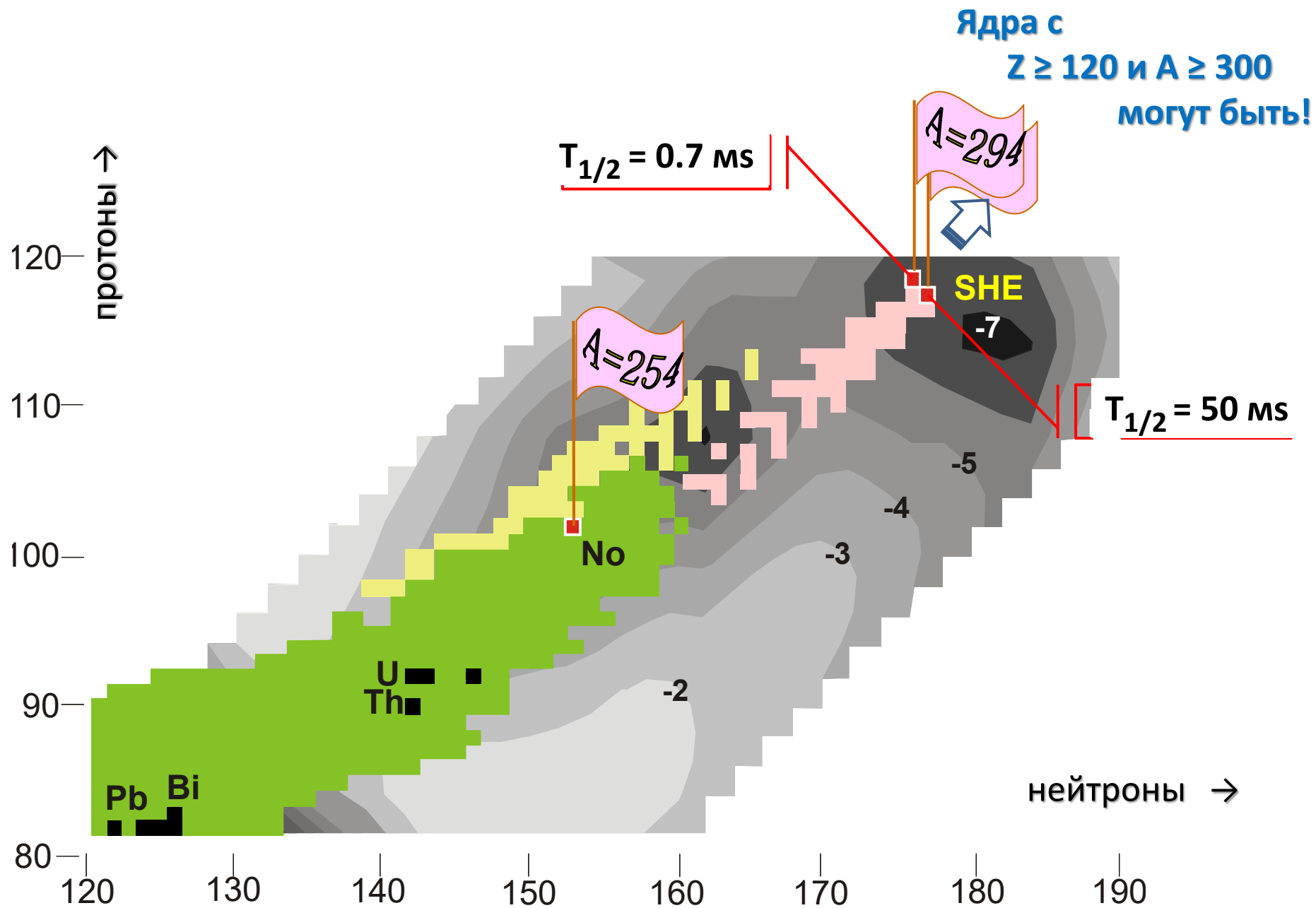
Summary decay properties of the isotopes of elements 113, 115, and 117 observed in ^{237}Np , ^{243}Am and $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$ reactions



2000 - 2015

113 Nh Nihonium (284)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (288)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)
---------------------------------------	--	--	--	---	--

From ^{48}Ca induced reactions



Двигаясь от свинца, последнего стабильного элемента, в область более тяжелых элементов, мы видим впечатляющую картину выживаемости ядер,

На границе ядерной стабильности ,

- эффект оболочек понижает энергию основного состояния,
- создает барьер деления,
- и делает возможным существование СТЭ

Фундаментальные следствия современной теории о структуре ядерной материи и пределах масс атомных ядер получили впервые экспериментальное подтверждение

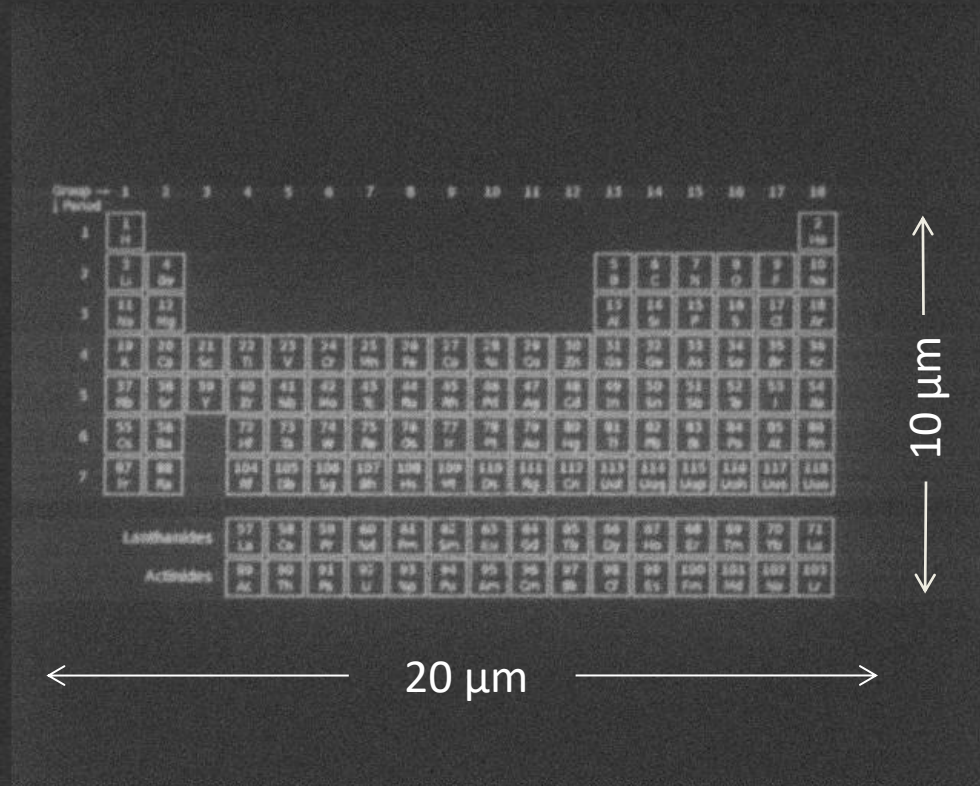
Между тем, открытие СТЭ, подобно открытию ящика Пандоры, поставило нам много неожиданных вопросов

Среди них:

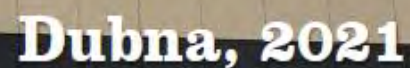
- Похожи ли сверхтяжелые элементы на природные элементы
- Как располагаются сверхтяжелые элементы в Периодической Таблице?
- Где пределы самой Периодической Таблицы и как они определяются?

Самая маленькая Периодическая таблица

Made by Electron Beam Lithography method

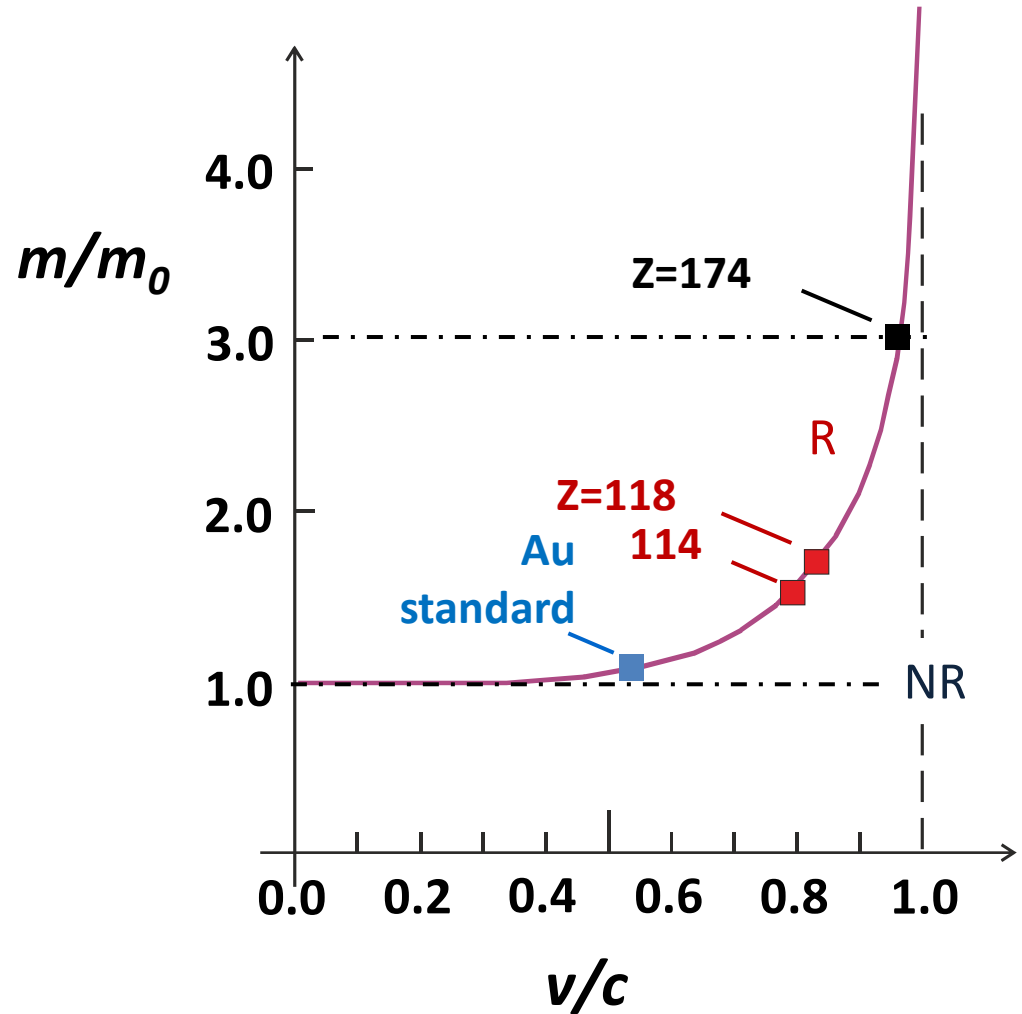


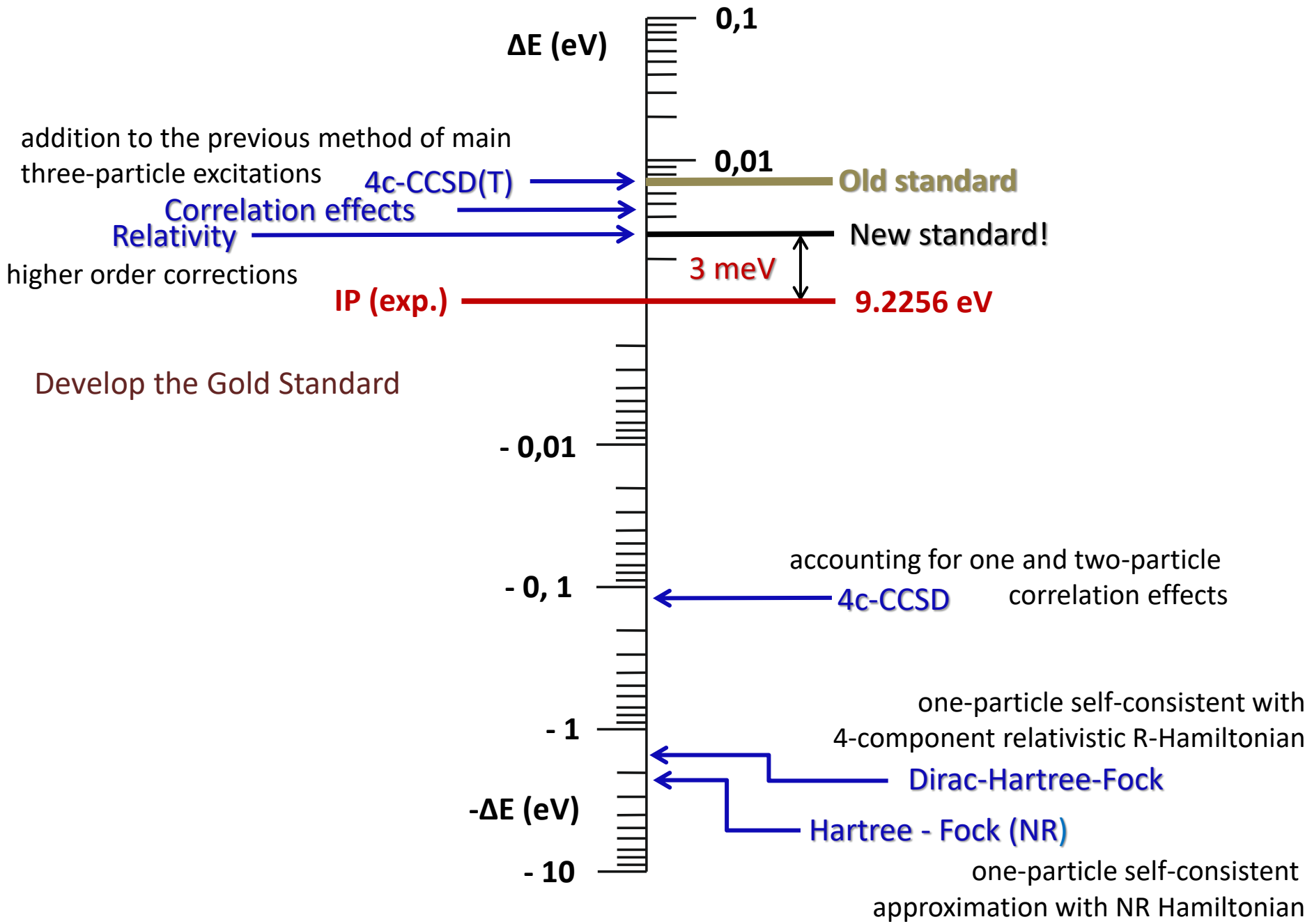
Andrei Khlobystov and his group
from Nottingham UK.



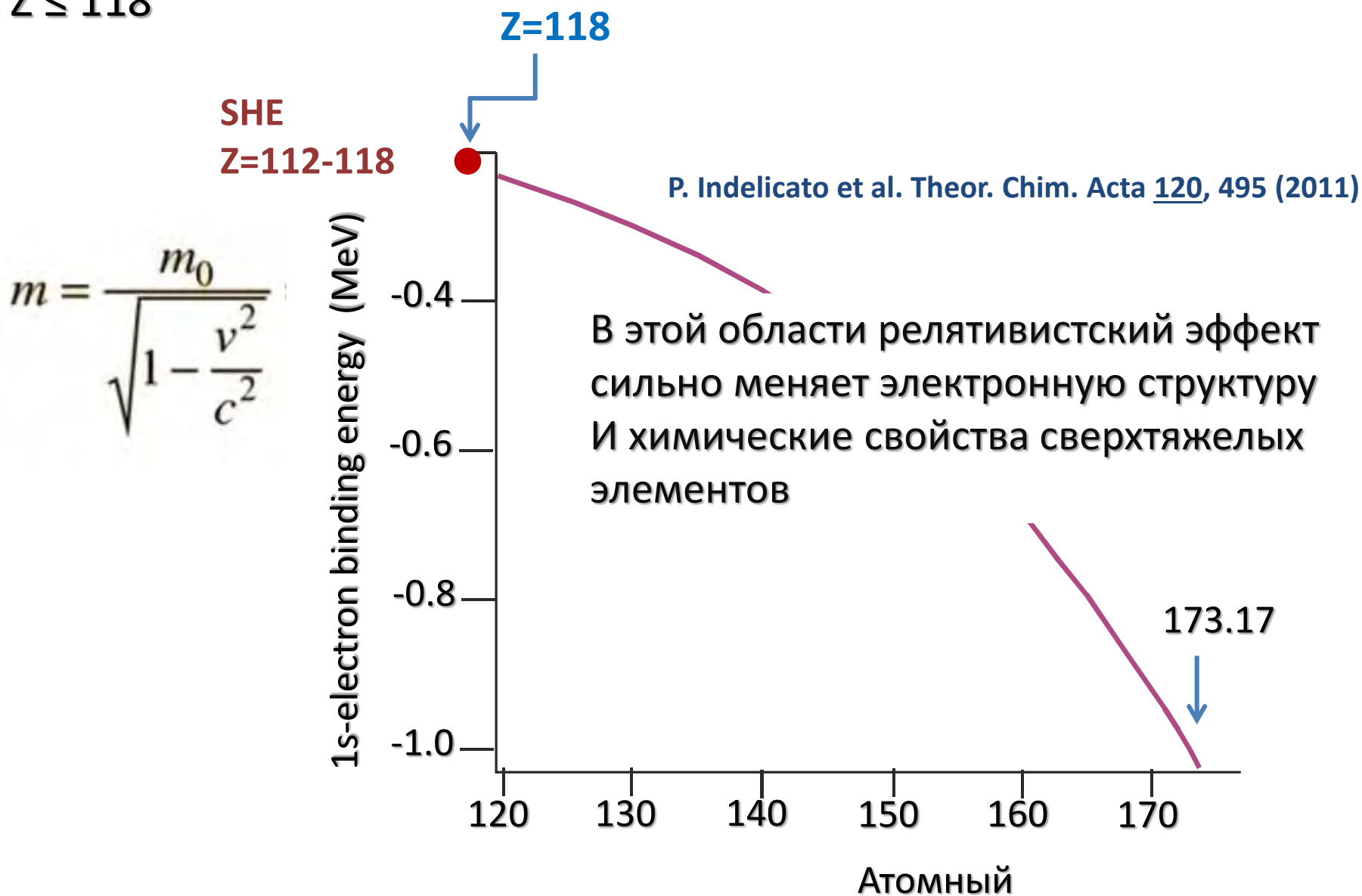
Возникновение «релятивистского эффекта» в электронной структуре тяжелых атомов

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

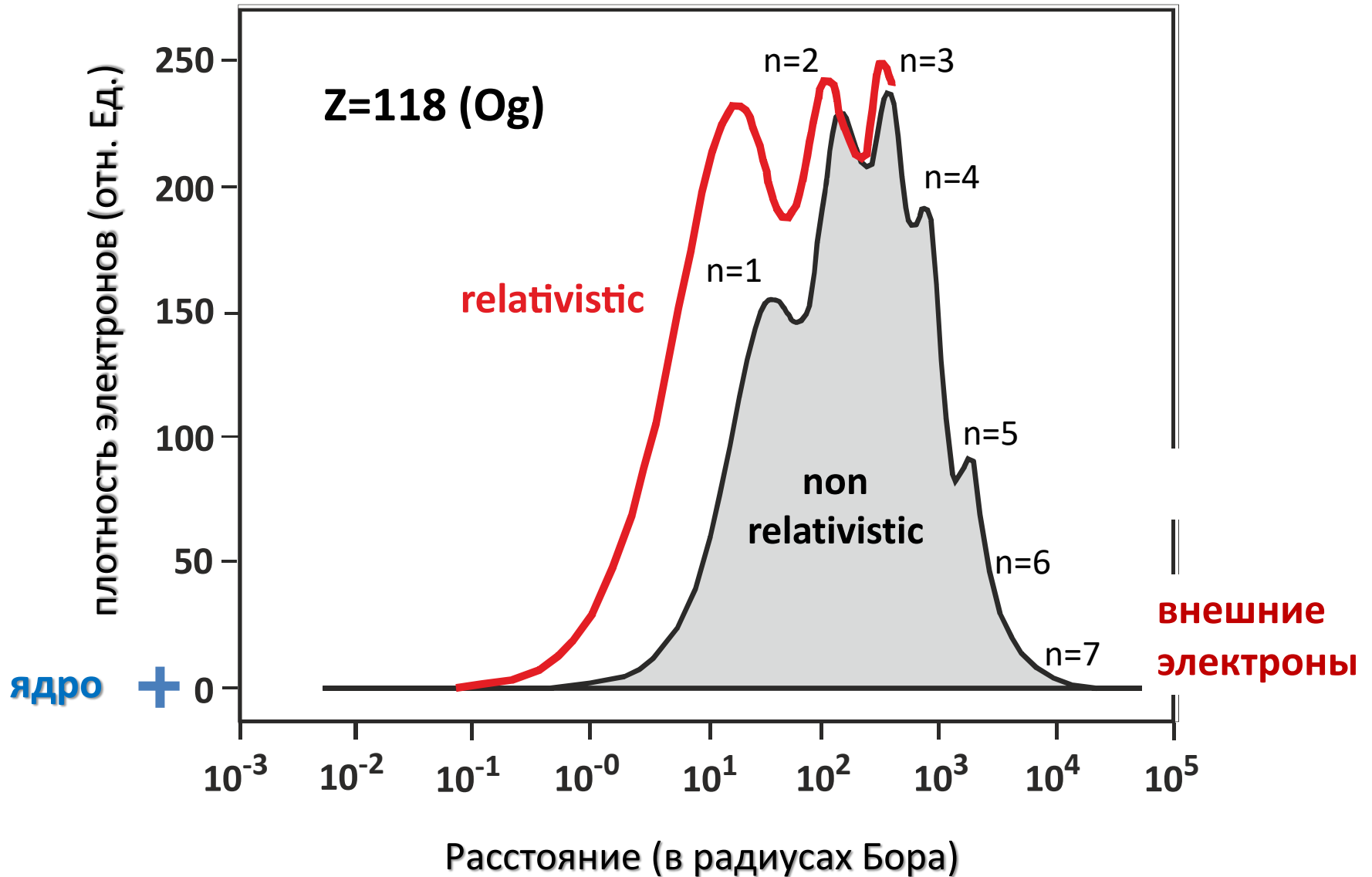




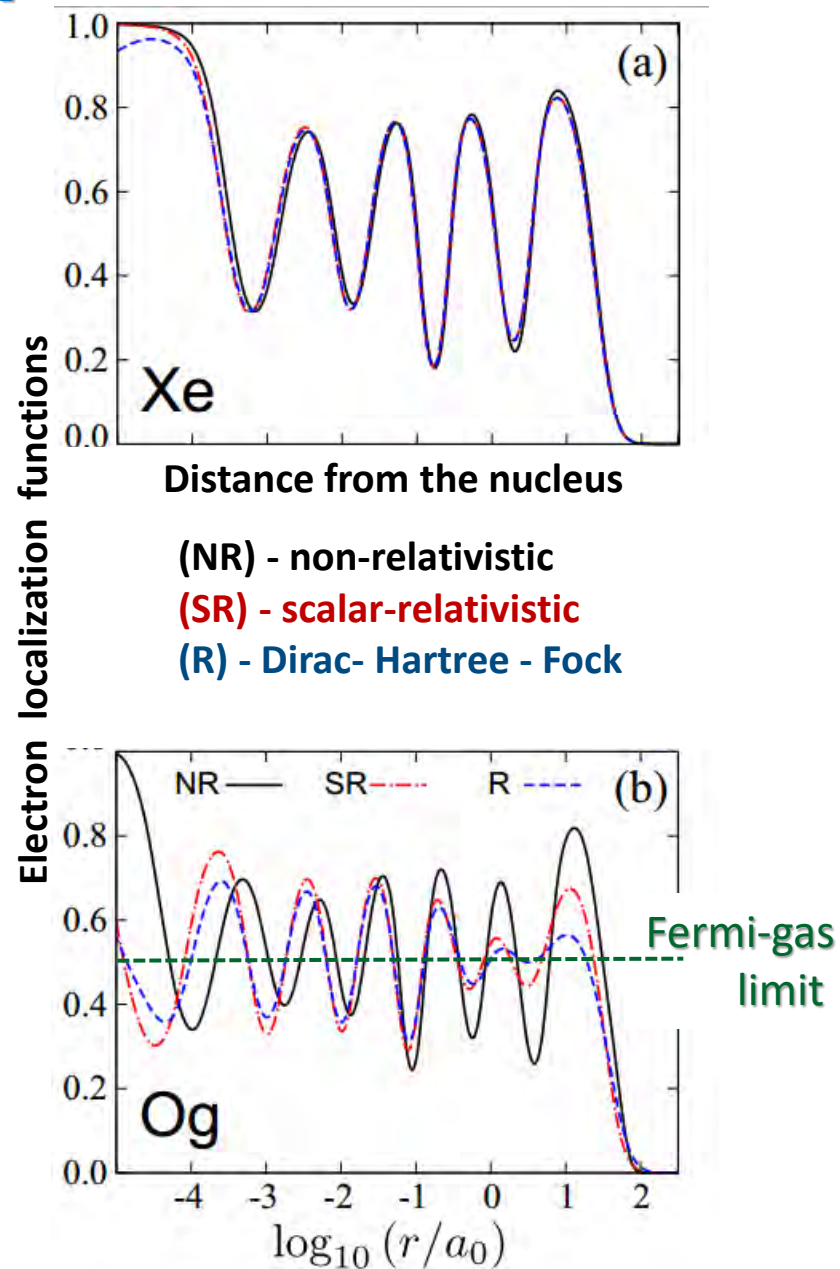
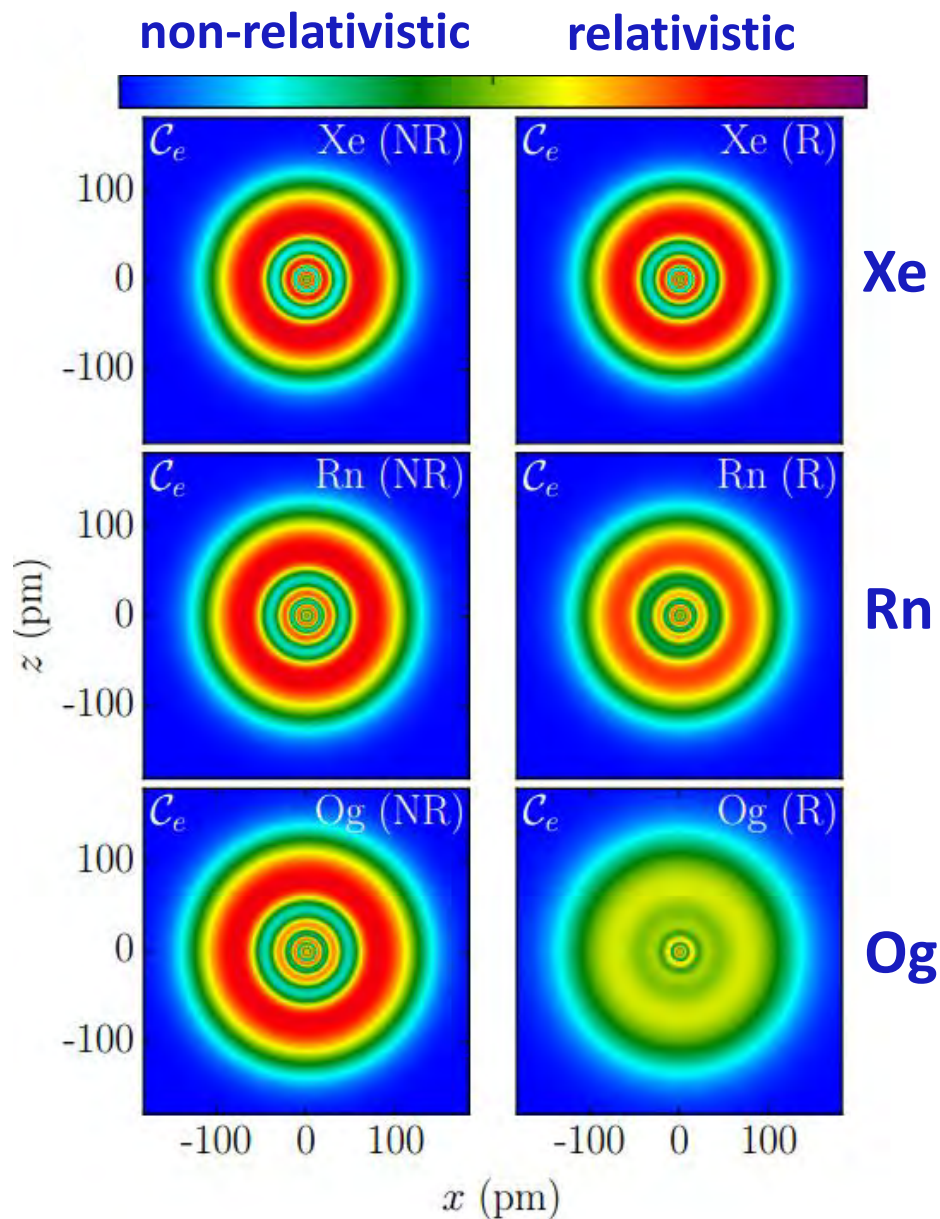
Но релятивистский эффект должен проявляться уже в элементах с $Z \leq 118$



Релятивистское сжатие

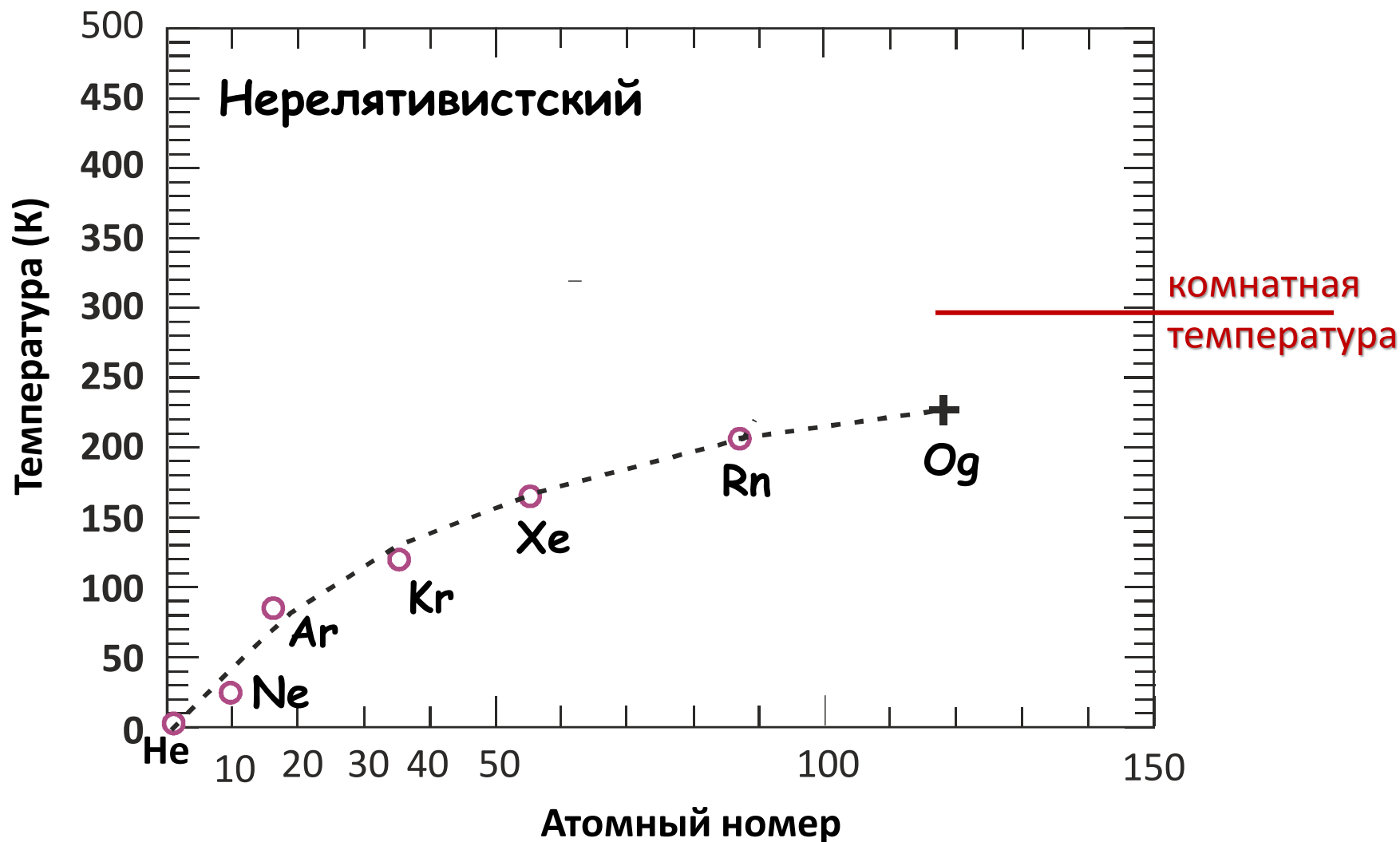


Electron Localization Functions of SHE



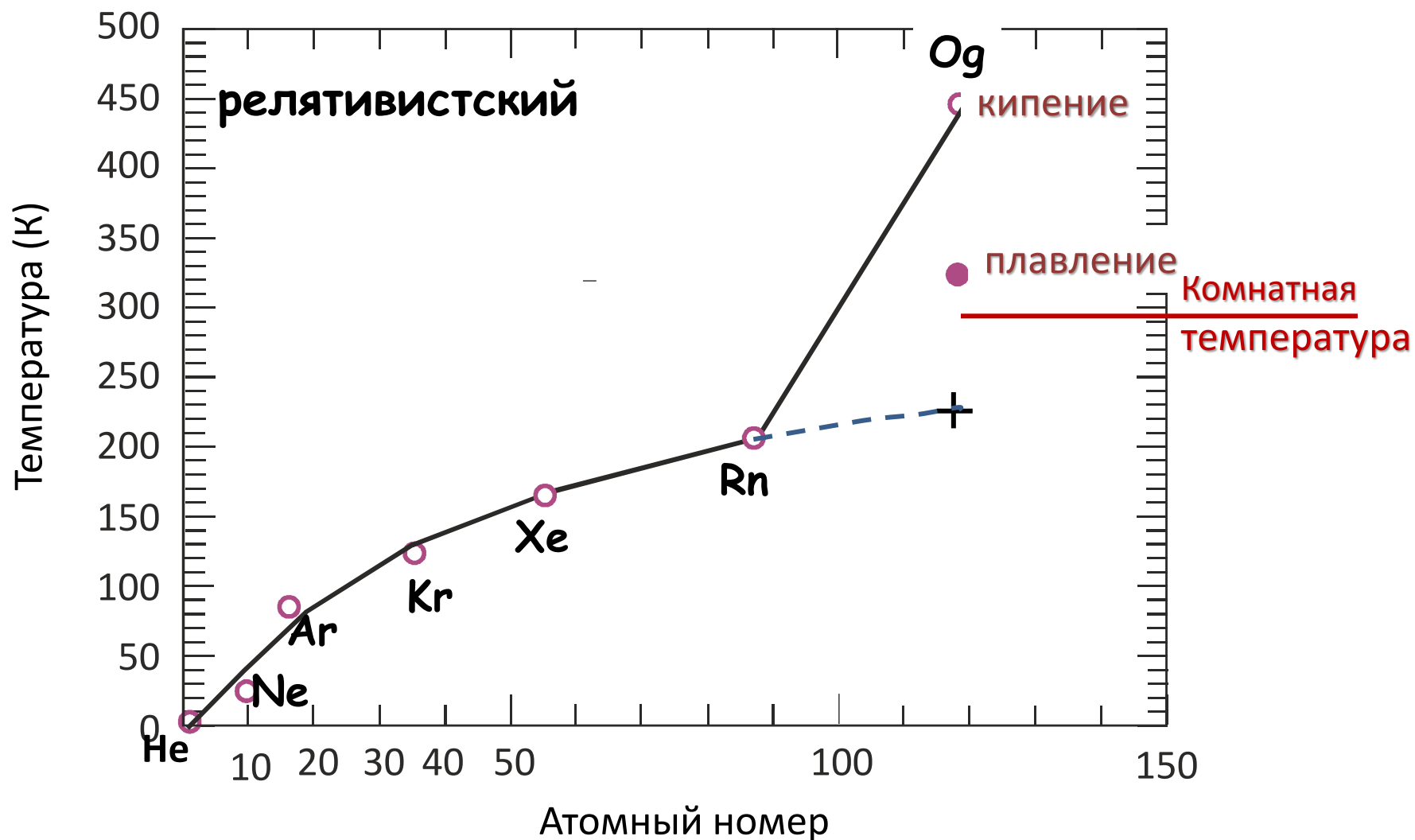
Благородные газы

P. Schwerdtfeger et al/
Angewandte Chemie 2020 (to be published)



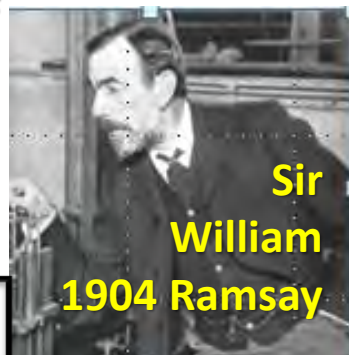
Благородные газы

P. Schwerdtfeger et al/
Angewandte Chemie 2020 (to be published)



2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

																	He
Be												B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og



119 120 Будет ли элемент 118 благородным газом?

* Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

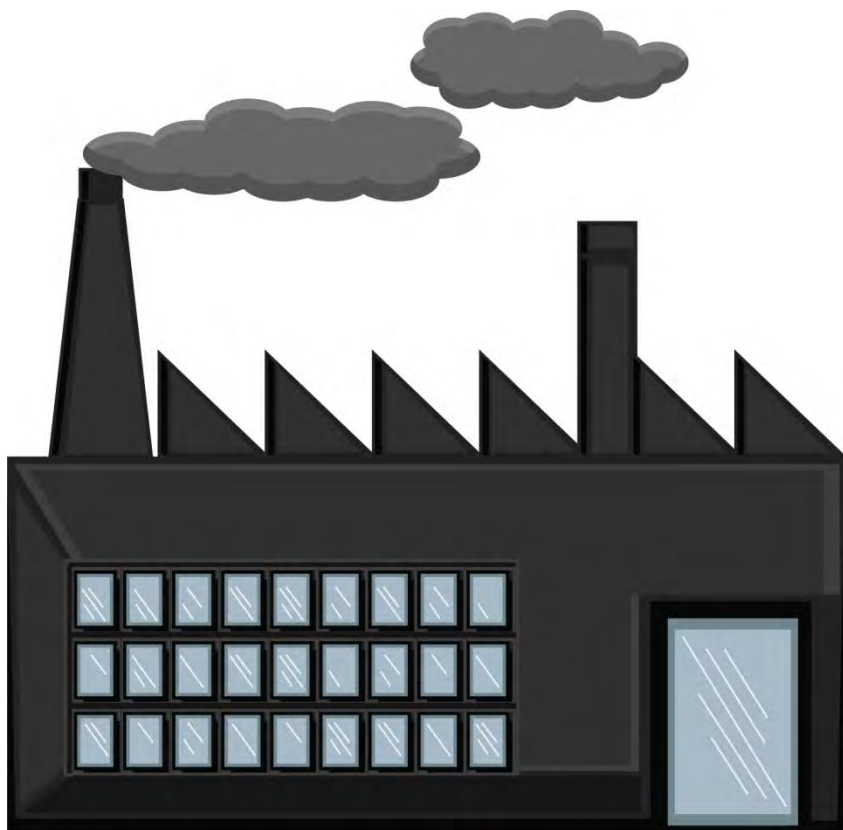
** Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr

Periodic Table

calculated in the relativistic approximation

1																	18
1 H	2											13	14	15	16	17	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 br	36 kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52	53	54 Xe
next		57 La →	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	SHE known		86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac →	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
(119)	(120)	121 →															
Lanthanides →		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
Actinides →		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Новые горизонты



Фабрика
Сверхтяжелых Элементов

Март 2012, Дубна



Юрий Оганесян «Новые пришельцы в Таблицу элементов» 7 ноября 2024, РЭУ, Москва

Август 2017, Дубна



Фабрика СТЭ

Юрий Оганесян «Тяжеловесы в Таблице Менделеева» 6 октября 2025, ОИЯИ, Дубна

SHE-Factory

Мишенные
материалы

Pu 240-244

Cm 245-248

Bk-249

Cf-249-251

Фактор 5-10

Новый ускоритель
ионы: Ca-48

Ti-50

Cr-54

Ni-64

Фактор 10-20

Сепараторы и детекторы
нового поколения

Фактор 2-3

**Зависи от
интеллектат**

Высокопоточный реактор
СМ-3 в Дмитровграде
Ульяновская обл

Новый масс-сепаратор
Нижегородская обл..
г.Саров РОСАТОМ

Новый циклотрон
ДЦ-280

3 эксперим. зала

5 каналов пучка

Московская обл.

Масс сепаратор редких
стабильных изотопов
в Свердловской обл.

Сепараторы
СТЭ

DGFRS-2

DGFRS-3

GASSOL

(проект)

Новый циклотрон DC-280

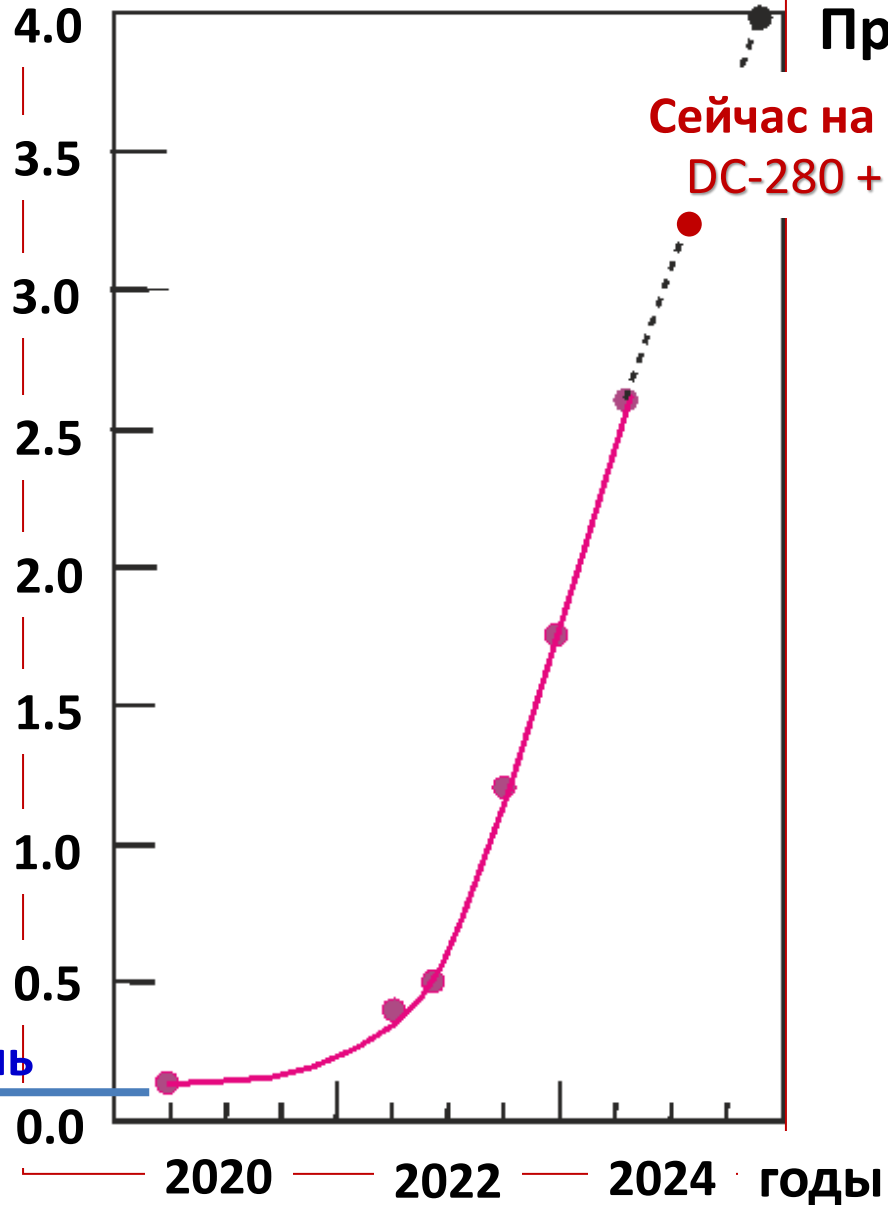
Юрий Оганесян «Тяжеловесы в Таблице Менделеева» 6 октября 2025, ОИЯИ, Дубна

Развитие работ на Фабрике СТЭ

Светимость
эксперимента

Предшествующий уровень
U-400 + DGFRS-1

Luminosity ($10^{31}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)



Благодарю за внимание!