

## СВРЪХТЕЖКИТЕ ХИМИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ 113 – 118: СИНТЕЗИ, НАИМЕНУВАНЕ, СВОЙСТВА

Иван Дуков

Химикотехнологичен и металургичен университет – София

**Резюме.** Сврхтежките химични елементи 113 – 118 са 7p-елементи и са включени в групи 13 – 18 на Периодичната таблица. Свойствата им са обусловени в значителна степен от релативистични ефекти: директен, индиректен и спин-орбитално разцепване. Влиянието на тези ефекти е причина да бъде предсказано, че някои от свойствата на елементите ще се различават от свойствата на по-леките им аналози в групите. Поради малките периоди на полуразпадане на изотопите е трудно да бъдат осъществени реални експерименти, но малък брой проведени експерименти са потвърдили предсказаните свойства. Хипотезата за неголям „остров на стабилност“ с център елемент 114 (Флеровий) не е потвърдена. Приема се, че съществува област от сврхтежки ядра с повишена стабилност.

**Keywords:** decay chain, nuclear fusion, island of stability, relativistic effects, spin-orbit splitting, superheavy elements

### Увод

В последните десетилетия бяха синтезирани 15 нови химични елемента и около 100 техни изотопа (Schädel, 2015). Това са елементите с номера 104 – 118.<sup>1)</sup> Те бяха наречени сврхтежки елементи, или трансактиноиди. Понастоящем се приема, че сврхтежките елементи дължат съществуването си на ядрени ефекти и че само тези ядрени системи, които съществуват поне  $10^{-14}$  секунди, могат да бъдат приети за химични елементи. Този период е определен от времето за образуване на химични молекули, напр. на водородната молекула (Schädel, 2012).

Сврхтежките елементи се получават чрез ядрени реакции, при които подходящи мишени се бомбардират с тежки йони. Реакциите протичат с малка скорост: от 1 атом на минута до 1 атом на месец. Доказването на новите елементи е затруднено от малките периоди на полуразпадане и наличието на странични продукти, получавани при ядрените реакции. Поради това е много важно ефективното им разделяне от страничните продукти.

За получаване на сврхтежки елементи се използват два типа ядрени реакции: реакции на „студен“ ядрен синтез и на „горещ“ ядрен синтез. Реакциите

на „студен“ ядрен синтез се характеризират с относително малки енергии на възбуждане от порядъка на  $10^{-20}$  MeV (Kuleff, 2013). При тези реакции се използват среднотежки йони, напр.  $^{58}\text{Fe}$ , които при най-малки възможни енергии се сливат с ядрата на мишени от  $^{208}\text{Pb}$  или  $^{209}\text{Bi}$ . Получените ядра обикновено се разпадат чрез емисия на 1 – 2 нейтрона. Елементите с номера 107 – 112 са получени чрез реакции на „студен“ ядрен синтез.

Реакциите на „горещ“ ядрен синтез се характеризират с енергии на възбуждане от порядъка на 35 – 55 MeV, при които ядра на мишени от  $^{238}\text{U}$  до  $^{249}\text{Cf}$  се сливат с ядра от  $^{18}\text{O}$  до  $^{48}\text{Ca}$ . След завършване на реакциите получените ядра емитират 3 – 5 нейтрона.

Елементите с номера 113 – 118, с изключение на изотопа  $^{287}\text{113}$ , са получени чрез реакции на „студен“ ядрен синтез.

При реакции на „горещ“ ядрен синтез с интензитет  $3 \cdot 10^{12}$  йони за секунда и мишена, съдържаща  $2 \cdot 10^{18}$  атома/ $\text{cm}^2$ , се получават няколко ядра в минута на Rf и Db, няколко атома на изотопа  $^{265}\text{Sg}$ , по-малко от 2 атома на изотопа  $^{267}\text{Bh}$  и няколко атома на ден от изотопи на  $^{269}\text{Hs}$  и Fl (Schädel, 2012). При разпадане на изотопи на свърхтежки елементи могат да бъдат получени нови изотопи на вече познати елементи, но разпадът може да доведе и до получаване на изотопи на нови елементи.

Поради малките периоди на полуразпадане на свърхтежките елементи възможностите за експерименталното им изследване са много малки. Това прави безалтернативно използването на теоретични методи. Развитието на съвременните релативистични теории и на компютърната техника позволи да бъдат изчислени сравнително точно много характеристики на свърхтежките елементи. Прилагането на релативистични теории за предсказване на свойствата на елементите показва наличие на три релативистични ефекта (Pershina, 2009; Schädel, 2012).

#### *Директен релативистичен ефект*

Ефектът обяснява намалението на ефективния радиус на Бор на орбиталите с увеличение на скоростта на електрона, което причинява стабилизация на сферичните s и  $p_{1/2}$ -орбитали на K и L слоевете, но е установено, че ефектът е значителен и за външните s и  $p_{1/2}$ -орбитали на свърхтежките елементи. Например релативистичната стабилизация на 7s-орбиталата на Sn е равна на 6 eV, т.е. двойно повече от нерелативистичния подход. Намалението на обема на орбиталата е 25%.

#### *Индиректен релативистичен ефект*

Ефектът обяснява увеличението на обема на външните d и f-орбитали, което се дължи на ефективното екраниране на тези орбитали, което е резултат от

релятивистичната контракция на  $s$  и  $p_{1/2}$ -орбиталите. От това следва, че тези орбитали са разположени далече от ядрото, имат по-голям обем и са енергетично дестабилизираны.

### *Спин-орбитално разцепване*

Този релятивистичен ефект обуславя разцепване на орбиталите, за които орбиталното квантово число  $l > 0$  (орбитали на  $p, d, f$  и т.н. подслое). Тогава квантовото число  $j$  се определя от израза  $j = l \pm \frac{1}{2}$ . В резултат на спин-орбиталното взаимодействие  $7s$ -електронната двойка е много инертна и не участва в образуване на химични връзки. По същата причина  $7p$ -подслоят се разцепва на една по-стабилна орбитала  $7p_{1/2}$ , за която  $j = l - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ , и две орбитали с по-голяма енергия  $7p_{3/2}$ , за които  $j = l + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$ . Изчисленията са показали, че при наличие на 2 електрона на  $7p$ -орбиталите те заемат  $7p_{1/2}$ -орбиталата и имат антипаралелни спинове. Те също проявяват малка склонност да участват в образуване на химични връзки.

При  $6d$ -подслоя също се наблюдава разцепване на орбиталите. При тях  $l = 2$  и  $j = 2 - \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$  и  $j = 2 + \frac{1}{2} = \frac{5}{2}$ . Две  $6d_{3/2}$ -орбитали имат по-малка енергия и са по-стабилни от останалите три  $6d_{5/2}$ -орбитали с по-голяма енергия.

Релятивистичната стабилизация на  $ns$ -атомните орбитали има максимум при елемент 112 (Cn) на VII период на Периодичната таблица. Релятивистичната дестабилизация на орбиталите от  $6d$ -подслоя заедно със стабилизацията на  $7s$ -атомната орбитала причинява инверсия на енергиите на  $7s$  и  $6d_{5/2}$ -орбиталите на Cn, поради което най-малка йонизационна енергия имат  $6d_{5/2}$ -орбиталите, а не  $7s$ -орбиталата, както е при Hg. Инверсията започва от Hs. При свръхтежките елементи енергията на спин-орбиталното разцепване е сравнима или даже по-голяма от типичната енергия на химичната връзка. Изчисления са показали, че спин-орбиталното разцепване на  $7p$ -орбиталите за елемент 118 е 11,8 eV (Pershina, 2009).

Всеки от трите релятивистични ефекта има приблизително еднаква стойност.

Предсказаните свойства на елементите 104 – 118 показват, че те трябва да бъдат разположени в групи 4 – 18 на Периодичната таблица, от което следва, че VII период, който трябва да включва 32 елемента, е завършен.  $7s$ -подслоят включва Fr и Ra. При Ac се появява първият електрон на  $6d$ -подслоя. При

следващите 14 елемента (Th – Lr), които образуват семейството на актиноидите, се запълва 5f-подслоят. След това при елементите 104 – 112 продължава запълването на 6d-подслоя, което приключва при елемент 112(Cn). Елементите 113 – 118 запълват в 7p-подслоя. Това дава основание да бъде прието, че Периодичната таблица остава подходяща схема за обяснение на свойствата на свърхтежките елементи, но в същото време не може да се счита, че свойствата им могат да бъдат изцяло предсказани от мястото им в групите, тъй като релативистичните ефекти оказват влияние върху енергията на атомните орбитали, а оттам и на свойствата на елементите. Това може да доведе до разлика в свойствата на свърхтежките елементи от свойствата на по-леките им аналози в групите. Например изчислено е, че отношението на релативистичната маса на електрона  $m$  и масата му в покой  $m_0$  за водород е 1,000027, за Флеровий (елемент 114) то е 1,79, а за елемент 118 – 1,95. Изчисления са показали, че в резултат на релативистичните ефекти свърхтежките елементи ще проявяват и някои необичайни степени на окисление, различни от степените на окисление на по-леките им аналози в групите. В таблица 1 са дадени електронните конфигурации и степени на окисление на елементи 113 – 118 (Schädel, 2015).

Поради малките периоди на полуразпадане на изотопите на свърхтежките елементи и малките скорости на синтеза им експерименталното изследване на свойствата на тези елементи е много сложно и изисква създаване на специални методи и апаратура за анализ въз основа на единични атоми. Информация може да бъде получена при синтез на 1 атом на ден и даже при 1 атом на седмица, при условие че синтезираните ядра съществуват поне 1 секунда. Ефикасни и бързи експериментални методи са хроматографските методи. Най-често се използва термохроматографията, чрез която се изследва адсорбцията на летливи изотопи при определен температурен градиент. Това позволява да бъде изчислена адсорбционната енталпия. В последно време са получени данни за летливостта и металния характер на Cn (№ 112) и Fl (№ 114) (Eicher, 2014). Засега химичният състав и свойствата на съединенията на новите елементи могат да бъдат предвиждани единствено въз основа на аналогия с по-леките членове на групите. Поради това теоретичните изследвания остават важен и понякога единствен източник на химична информация.

**Таблица 1.** Електронните конфигурации и степени на окисление на елементи 113 – 118

| №   | Символ | Група | Електронна конфигурация | Степен на окисление |
|-----|--------|-------|-------------------------|---------------------|
| 113 | Uut    | 13    | [Rn]6d107s27p1          | <b>1, 3</b>         |
| 114 | Fl     | 14    | [Rn]6d107s27p2          | <b>0, 2, 4</b>      |

|     |     |    |                |                    |
|-----|-----|----|----------------|--------------------|
| 115 | Uup | 15 | [Rn]6d107s27p3 | <b>1, 3</b>        |
| 116 | Lv  | 16 | [Rn]6d107s27p4 | <b>2, 4</b>        |
| 117 | Uus | 17 | [Rn]6d107s27p5 | <b>-1, 1, 3, 5</b> |
| 118 | Uuo | 18 | [Rn]6d107s27p6 | <b>2, 4, 6</b>     |

**Забележка.** *Най-стабилната степен на окисление на всеки елемент е в удебелен шрифт*

За експерименталното изследване на свойствата на свръхтежките елементи е много важно да бъдат синтезирани техни изотопи с големи периоди на полуразпадане. През 30-те години на XX век е изказана идеята, че стабилността на атомните ядра зависи от броя на протоните и неутроните, които те включват. В ядрата нуклеоните (протони и неутрони) се разполагат в слоеве с определена енергия. Ядрата имат повишена стабилност и следователно по-големи периоди на полуразпадане, когато слоевете са запълнени с нуклеони. Запълнените слоеве съдържат 2, 8, 20, 28, 40, 50, 82, 126, 184 протони и неутрони. Тези числа са били наречени „магически“. Въз основа на тези идеи Glen Seaborg е изказал хипотезата, че съществува неголям „остров на стабилност“, обкръжен от „море от нестабилност“. Изотопи, чийто брой на протоните и неутроните съвпада с магическите числа, би трябвало да имат повишена стабилност. Изотопите  $^{298}_{114}\text{Fl}$ ,  $^{304}_{120}$ ,  $^{310}_{126}$  съдържат 184 неутрона, но при изотопа  $^{310}_{126}$  и броят на протоните съвпада с „магическото“ число 126 (Kuleff, 2013). Синтезът на изотопа  $^{270}_{108}\text{Hs}$  е показал, че наличие на 162 неутрона в ядрото осигурява стабилност. Това е причина да бъде приета идеята (Schädel, 2015), че вместо неголям „остров на стабилност“ съществува разширена област от деформирани свръхтежки ядра с повишена стабилност. J.V. Kratz (2012) твърди, че центърът на „острова на стабилност“ не се намира при елемент 114 (Флеровий). Според Oganessian (2007) реакциите, използвани за синтез на свръхтежки ядра при използване на мишени от актиноиди и йоните  $^{48}\text{Ca}$ , дават възможност да бъдат синтезирани изотопи на елементите 114 (Fl) и 116 (Lv), съдържащи от 7 до 9 неутрона по-малко от „магическото“ число 184, което не позволява да бъдат получени стабилни изотопи. Oganessian (2007) приема, че стабилни изотопи могат да бъдат получени за елементи с номера по-големи от 118 при реакциите  $^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Fe}$  и  $^{245}\text{Cm} + ^{64}\text{Ni}$ .

Други изследователи (Zagrebaev et al., 2013) приемат, че елементи с номера 119 и 120 могат да бъдат синтезирани при реакциите  $^{249}\text{Bk}$  и  $^{249}\text{Cf}$  с  $^{50}\text{Ti}$  и

на  $^{248}\text{Cm}$  с  $^{54}\text{Cr}$ . Експеримент за синтез на елемент 120 е проведен в лаборатория на Дружеството за изследване на тежки йони, Дармщат (Gesellschaft der Schwerionenforschung, GSI), през 2011 г. Мишени на  $^{248}\text{Cm}$  и  $^{249}\text{Cf}$  са бомбардирани съответно с йони на  $^{54}\text{Cr}$  и  $^{50}\text{Ti}$ . Следващата година в същата лаборатория е проведен експеримент за синтез на елемент 119 по реакцията  $^{249}\text{Bk} + ^{50}\text{Ti}$ . Смята се, че за получаване на първия атом от двата елемента са необходими около 5 месеца, но засега няма информация, че синтезът им е успешен. Въпреки това схващането е, че елементи 119 и 120 могат да бъдат синтезирани в близко бъдеще, но синтез на елементи с номер, по-голям от 120, засега е проблематичен.

От елемент 119 трябва да започне изграждане на VIII период на Периодичната таблица. Периодът би трябвало да съдържа 50 елемента, тъй като освен 8s, 8p, 7d, 6f-подслоеве включва и 5g-подслоей, съдържащ 18 елемента. Изчисления, основани на метода на Dirac – Fock (Рууккё, 2011), са показали, че при елементи 119 – 172 запълването на подслоевите с електрони би трябвало да става в следния ред:  $8s < 5g < 8p_{1/2} < 6f < 7d < 9s < 9p_{1/2} < 8p_{3/2}$ . Авторът е публикувал нова компактна форма на Периодичната таблица, включваща елементи с номера от 1 до 172, но посочва, че електронните конфигурации на атоми и молекули са само апроксимация. Все пак е трудно да бъде прието, че ще бъдат синтезирани елементи с много големи атомни номера. Изказани са различни мнения, но засега не може да бъде даден отговор къде е горната граница на Периодичната таблица (Kuleff, 2013, Schädel, 2015).

Всеки нов елемент получава постоянно име в съответствие с правилата на IUPAC (Korpenol, 2002). След като работна група на IUPAC–IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) получи сигурни доказателства за синтез на нов елемент, откривателите получават право да направят обосновано предложение за име и символ на елемента. IUPAC прави проверка дали предложението е в съответствие с приетите правила. Ако това не е така, трябва да бъдат направени необходимите промени или да бъде предложено алтернативно име, след което името се утвърждава. Когато новият елемент е резултат от сътрудничество на две или повече лаборатории и няма съгласие за името му, IUPAC поема инициатива да предложи име. През 2012 г. постоянни имена получиха елемент 114, наречен Флеровий (Flerovium, Fl) в чест на един от основателите на Обединения институт за ядрени изследвания акад. Г. Н. Флёрв в Дубна (Объединённый институт ядерных исследований) и елемент 116, наречен Ливърморий (Livermorium, Lv) в чест на Националната лаборатория „Лоурънс Ливърмор“, САЩ (Lawrence Livermore National Laboratory) (Loss & Corish, 2012).

Докато се разглеждат доказателствата за новооткрит елемент (обикновено са необходими няколко години), елементът получава временно име. Елементът може да бъде обозначен с атомния си номер – например елемент 118, но за подобни случаи IUPAC е създал систематична номенклатура. Според нея имената се съставят въз основа на атомния номер на елемента при използване на следните числови корени (Korpenol, 2002):

0 – нил (nil)    1 – ун (un)    2 – би (bi)    3 – три (tri)    4 – куад (quad)  
5 – пент (pent)    6 – хекс (hex)    7 – септ (sept)    8 – окт (oct)    9 – ен (enn)

Корените се записват последователно по реда на цифрите, образуващи атомния номер. Английското име завършва на “ium” (бълг. „ий”). Крайното “n” от “enn” се изпуска, когато е пред “nil”, а “i” от “di” и “tri” – когато то е пред “ium”. Символите на елементите са трибуквени и се получават от началните букви на числовите корени, които съставят името.

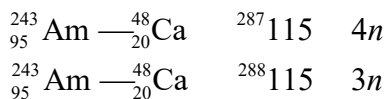
Елементите 113, 115, 117 и 118 имат следните временни имена и символи:

Елемент 113: Унунтрий (Ununtrium, Uut); Елемент 115: Унунпентий (Ununpentium, Uup); Елемент 117: Унунсептий (Ununseptium, Uus); Елемент 118: Унуноктий (Ununoctium, Uuo)

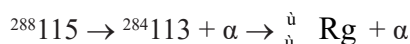
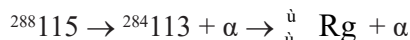
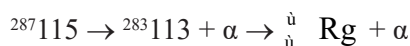
Временните имена и символи се използват дотогава, докато обединеният комитет IUPAC–IUPAP получи неопровержими доказателства, че съответният елемент е синтезиран, и установи приоритета на претендентите за откритието. Тогава елементът ще получи постоянно име и символ. Очаква се в скоро време постоянни имена да получат елементи 113 (Унунтрий), 115 (Унунпентий) и 117 (Унунсептий), за синтеза на които са получени потвърждения от различни лаборатории. Синтезиран е и елемент 118 (Унуноктий).

### Елемент 113: Унунтрий (Ununtrium, Uut)

Първи данни за получаването на елемент 113 са публикувани от Oganessian et al. (2004b). Елементът е продукт от разпадането на изотопи на елемент 115. Синтезът протича по уравненията



Получени са 3 атома от  ${}^{288}_{115}$  и 1 атом от  ${}^{287}_{115}$ . Изотопите имат период на полуразпадане по-малък от 1 секунда. Като междинен продукт от разпадането им се получават изотопите  ${}^{283}_{113}$  и  ${}^{284}_{113}$ . Протичат реакциите

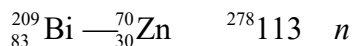


Краен продукт на разпадането на изотопите е  $^{208}\text{Db}$ . Получаването на този изотоп се приема за доказателство за синтеза на елементите 115 и 113.

Експерименти, проведени през 2005 г., са потвърдили тези резултати (Oganessian et al., 2005). През 2010 г. са синтезирани изотопите  $^{293}_{117}$  и  $^{294}_{117}$ , при чието разпадане са получени изотопи  $^{285}_{113}$  и  $^{286}_{113}$  с периоди на полуразпадане съответно 6 секунди и 21 секунди (Hamilton et al., 2012).

Синтезът на елемента е проведен от колектив, съставен от учени от Обединения институт за ядрени изследвания в Дубна и Националната лаборатория „Лоурънс Ливърмор“, САЩ, с ръководители Ю. Оганесян и Кенет Муди.

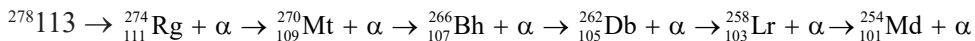
През 2004 г. един атом на елемент 113 е синтезиран от японски учени от RIKEN Nishima Center (RNC) (Morita et al., 2004). Осъществена е реакцията



Синтезът е последван от 6 последователни  $\alpha$ -разпадания, приети за разпадане на елемент 113. През 2005 колективът от RIKEN е получил още един атом на елемент 113 (Morita et al., 2007).

През 2011 г. работна група на IUPAC–IUPAP е разгледала претенциите на лабораториите Дубна – Ливърмор и RIKEN и е преценила, че за момента резултатите не отговарят на критериите за откритие на елемент 113 (Barber et al., 2011).

През 2012 г. учените от RIKEN са успели да установят, че краен продукт на разпадането на изотопа  $^{275}_{113}$  е  $^{254}_{113}\text{Md}$  (Morita, 2012) и че разпадната верига е



Японските учени оспорват приоритета на руско-американския колектив, тъй като той не е успял да установи разпадането на  $^{262}_{105}\text{Db}$  до  $^{258}_{103}\text{Lr}$  и  $^{254}_{101}\text{Md}$ . Според тях техният експеримент е недвусмислено доказателство, че начало на разпадната верига е изотопът  $^{278}_{113}$ . По тази причина японските учени имат претенции за приоритет при откриването на елемента. Макар че досега приоритетът им не е признат, те предлагат елементът да бъде назован Japonium, Rikenium или Nishimium (японски физик). Решението на IUPAC е предстоящо.

Досега са получени изотопи на елемент 113 с маси 278, 282, 283, 284, 285 и 286.

В основно състояние електронната конфигурация на елемента е  $[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^27p_{1/2}^1$ . В резултат на спин-орбиталното взаимодействие  $7s$ -орбиталата и  $7p_{1/2}$ -орбиталата са стабилизирани.  $7s$ -атомната орбитала е много стабилна и не може да участва в образуване на химични връзки, но независимо от това, че  $7p_{1/2}$ -орбиталата също е стабилизирана, единичният електрон, заемащ орбиталата, може да участва в образуване на химични връзки. Поради това най-стабилна би била първа степен на окисление, но в тази степен на окисление елементът ще бъде по-инертен от по-лекия си аналог в група 13 (Tl). Освен това електронът на  $7p_{1/2}$ -орбиталата няма да може да образува здрави ковалентни връзки.

В резултат на спин-орбиталното взаимодействие  $6d$ -орбиталите са дестабилизирани, като енергията на  $6d_{5/2}$ -орбиталите е близка до енергията на  $7s$ -орбиталата. По тази причина елемент 113 би могъл да прояви II, III и V степен на окисление, т.е. ще има прилика с преходните метали, но най-стабилната от тях (III) ще бъде по-малко стабилна от I степен на окисление.

Очаква се, че в първа степен на окисление елемент 113 ще прилича в по-голяма степен на Ag(I), а не на по-лекия си аналог Tl(I). Йонът  $(113)^+$  би се свързал с анион като  $Cl^-$ , в резултат на което съединение  $113Cl$  би било стабилно в среда на излишък от солна киселина. За разлика от него съединението  $TlCl$  не е стабилно. Друга разлика на свойствата на елемент 113 и Tl е, че  $TlOH$  е силен хидроксид, докато елемент 113 би образувал оксид  $(113)_2O$ .

Релативистичната контракция на  $7p_{1/2}$ -орбиталата би трябвало да намали дължината на връзката в молекулата  $113-H$ . Подобен ефект не би трябвало да бъде наблюдаван при останалите  $7p$ -елементи, тъй като при тях в образуване на връзката участват както стабилната  $7p_{1/2}$ -орбитала, така и по-нестабилните  $7p_{3/2}$ -орбитали. Приносът на  $7p_{1/2}$ -орбиталата намалява при преход от елемент 113 към елемент 118 поради запълването на  $7p_{3/2}$ -орбиталите с електрони. Изчисленията за образуване на молекула, включваща по един атом от елементите 113 и 117, са показали, че при образуване на молекулата би се осъществил електронен пренос към атома на елемент 113 вместо в обратна посока (към  $7p$ -орбиталата на елемент 117, запълнена със седем електрона). Това се дължи на факта, че  $7p_{1/2}$ -орбиталата на елемент 113 е по-стабилна от  $7p_{3/2}$ -орбиталите на елемент 117. Участие на  $6d$ -орбитали в образуването на химични връзки е причина молекулите  $113X_3$  (H, F, Cl, Br, I) да имат Т-образна форма, а не плоска триъгълна форма. Това показва, че Теорията за отблъскване на валентните електронни двойки (ТОВЕД) не може да бъде прилагана при съединенията на свръхтежките елементи (Pershina, 2009).

Експерименти за определяне на летливостта на елемента са проведени през 2010 г. и 2011 – 2012 г. Синтезиран е изотопът  $^{284}\text{113}$ , чийто период на полуразпадане е 0,5 секунди. Изследвана е адсорбцията върху златна повърхност при  $70^\circ\text{C}$ . Използван е газ носител. Установено е, че летливостта на елемента е малка, но резултатите са били несигурни. Очаква се, че по-надеждни данни за летливостта биха се получили, ако бъде използван хидроксидът  $\text{113OH}$ , но тъй като образуването му е възможно да е свързано с кинетични затруднения, удачно е да бъде използван най-дългоживущият изотоп  $^{286}\text{113}$ , чийто период на полуразпадане е 21 секунди. Приема се, че хидроксидът би могъл да бъде получен чрез добавяне на водна пара към газа носител (Schädel, 2012; Eicher, 2014).

#### Елемент 114: Флеровий (Flerovium, Fl)

Първи сведения за синтез на елемент 114 (тогава той няма постоянно име) са публикувани през 1999 г. от руско-американски колектив от Дубна – Ливърмор. При бомбардиране на мишена от  $^{244}\text{Pu}$  с йони  $^{48}\text{Ca}$  е получен един атом на изотопа  $^{289}\text{114}$  (Oganessian et al., 1999). При следващи експерименти са получени изотопите  $^{288}\text{114}$  и  $^{287}\text{114}$ . Най-голям период на полуразпадане (2,1 секунди) има изотопът  $^{289}\text{114}$ . Получаването на изотопите е доказано чрез продуктите на разпадането им (Oganessian et al., 2000; 2001; 2004a).

Десет години по-късно колектив от Националната лаборатория „Лоурънс Ливърмор“, САЩ, е провел експерименти с  $^{242}\text{Pu}$  и  $^{48}\text{Ca}$  и е идентифицирал изотопите  $^{286}\text{114}$  и  $^{278}\text{114}$  (Schwerdtfeger, 2013).

През 2012 г. работна група на IUPAC–IUPAP е приела, че има достатъчни доказателства за синтеза на елементите 114 и 116 и че приоритет за откритието на елементите има колективът от Дубна – Ливърмор, и изследователите са били поканени да предложат постоянно име на елемента. Първоначалното предложение на учените от Дубна елементът да получи име Московий (Moskovium), не е било прието, след което елементът е получил името Флеровий.

Предвижданията, че елементът се намира в центъра на „остров на стабилност“ и изотопите му би трябвало да имат голям период на полуразпадане, не са се оправдали. Приема се, че причината е в това, че синтезираните изотопи съдържат 8 – 9 неутрона по-малко от „магическото“ число 184.

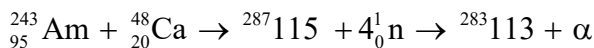
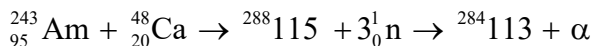
Флеровият има електронна конфигурация  $[\text{Rn}]5f^{14}6d^{10}7s^27p_{1/2}^2$  и трябва да бъде поставен в група 14 на Периодичната таблица. Двата  $7p$ -електрона заемат  $7p_{1/2}$ -орбиталата, тъй като енергетичната разлика между  $7p_{1/2}$  и  $7p_{3/2}$ -орбиталите е около  $300 \text{ kJ mol}^{-1}$  (Schwerdtfeger & Seth, 2002; Schwerdtfeger, 2013). Запълнените  $7s$  и  $7p_{1/2}$  орбитали са релативистично стабилни и обуславят малка реакционност на елемента. Поради това може да бъде предвидено, че елементът ще проявява нулева степен на окисление и ще прилича на благородния газ радон, т.е. елементът ще

има нехарактерно за метал от 14 група поведение. Поради релативистично стабилизираната и с по-малък обем  $7p_{1/2}$ -орбитала може да се очаква, че свойствата на Fl ще се определят от двата електрона, заемащи тази орбитала, и той ще проявява и II степен на окисление. Поради индиректната релативистична дестабилизация на  $7p_{3/2}$  и  $6d$  – орбиталите е възможно Fl да проявява IV и VI степен на окисление и в известна степен да прилича на преходен метал, но тези степени би трябвало да бъдат много по-малко стабилни от II степен (Pershina, 2009).

Експерименти, проведени с използване на газова хроматография, са показали, че Fl е по-малко реакционноспособен от по-лекия си аналог в 14 група (Pb) (Oganessian et al., 2004c), но все пак е метал. Установено е, че адсорбцията на Fl върху златна повърхност се дължи на връзки метал–метал, които са поне толкова здрави, колкото връзките на Sn със златна повърхност. Експериментите са показали, че Fl е летлив метал, който е най-малко реакционноспособен в група 14, но той не е толкова инертен, колкото благороден газ (Dülmann, 2012; Yakushev et al., 2014). По данни на Schwerdfeger (2013) химичните връзки Fl–Au са по-слаби от връзките Hg–Au, но по-здрави от връзките Xe–Au. Енергиите на връзките са съответно 50, 75 и 16 kJ mol<sup>-1</sup>. Изчисления са показали, че при образуване на съединението FlAu  $7p_{1/2}$  и  $7p_{3/2}$ -орбиталите на Fl се припокриват с  $5d$  орбитали на златото. Според Schädel (2012) енергията на връзките при адсорбция на някои атоми върху златна повърхност следва реда Pb > Fl > Hg > Cn > Rn. Установено е, че връзката в молекулата Fl<sub>2</sub> е по-здрава от връзката в молекулата Cn<sub>2</sub>, но много по-слаба от връзката в Pb<sub>2</sub>. В образуването на връзката участват отново  $7p_{1/2}$  и  $7p_{3/2}$ -орбиталите на Fl.

### Елемент 115: Унунпентий (Ununpentium, Uup)

Елементът е синтезиран през 2004 г. от изследователи от Дубна и Ливърмор (Oganessian et al., 2004b; 2005) при бомбардиране на мишена от изотопа <sup>243</sup>Am с йони <sup>48</sup>Ca. Протичат реакции



Учените приемат, че доказателство за синтеза на елемента е, че краен продукт на разпадането е <sup>268</sup>Db, но тъй като нуклидите, получени във веригата на разпадане, не са били известни, през 2011 г. работна група на IUPAC–IUPAP е приела, че представените доказателства за синтеза на елементи 113 и 115 не отговарят на критериите на IUPAC за откритие (Barber et al., 2011). По-късно (Oganessian et al., 2010) публикуват данни, че са получени изотопите <sup>289</sup>115 и <sup>290</sup>115 при разпад на изотопи на новосинтезияния елемент 117. През 2013 г.

учени от Университета в Лунд (Швеция) и Дармщат (Германия) са потвърдили синтеза на елемент 115 (Rudolph et al., 2013), което увеличава вероятността IUPAC да преразгледа становището си от 2011 г.

Известните 4 изотопа на елемент 115 с атомни маси 287 – 290 имат много малки периоди на полуразпадане (най-дълго живущият изотоп  $^{289}\text{115}$  има период на полуразпадане 220 милисекунди), но се очаква изотопът  $^{291}\text{115}$  да има период на полуразпадане няколко секунди. Приема се, че той би могъл да бъде получен от изотопа  $^{295}\text{117}$ , който да бъде получен при реакцията  $^{249}\text{Bk}(^{48}\text{Ca}, 2n)^{295}\text{117}$ .

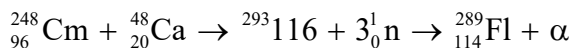
Електронната конфигурация на елемента е  $[\text{Rn}]5f^{14}6d^{10}7s^27p_{1/2}^27p_{3/2}^1$  и той е най-тежкият елемент в група 15 на Периодичната таблица. Електроните, заемащи  $7s$  и  $7p_{1/2}$ -орбиталите, са релативистично стабилизиращи и практически не могат да участват в образуване на химични връзки, но електронът, заемащ  $7p_{3/2}$ -орбиталата, е дестабилизиран и може да участва в образуване на химични връзки. В този случай  $6d$ -електроните не са дестабилизиращи и не биха могли да участват в образуване на химични връзки, макар че това е възможно при елемент 113 и Fl. Поради това най-благоприятна би била степен на окисление I, както при  $\text{Ti}^+$ . В резултат на предсказаните йонен радиус, йонизационен потенциал и поляризируемост на йона  $(115)^+$  се очаква той да прилича в по-голяма степен на  $\text{Ti}^+$ , отколкото на по-лека си аналог  $\text{Bi}^{3+}$ . Поради стабилната си електронна конфигурация ( $7s^27p_{1/2}^2$ ), аналогична на конфигурацията на Fl, катионът  $(115)^+$  би трябвало да прилича в известна степен на алкален метал. Степен на окисление III би трябвало да бъде нестабилна, а степен на окисление V би трябвало да бъде невъзможна поради инертността на електроните, заемащи  $7s$ -орбиталата.

Предсказано е, че съединенията  $(115)\text{OH}$ ,  $(115)_2\text{CO}_3$ ,  $(115)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $(115)\text{F}$  ще бъдат разтворими в  $\text{H}_2\text{O}$ , а сулфидът  $(115)_2\text{S}$  – неразтворим. Очаква се халогенидите  $(115)\text{Cl}$ ,  $(115)\text{Br}$ ,  $(115)\text{I}$  да бъдат малко разтворими. Трихалогенидите  $(115)\text{Cl}_3$ ,  $(115)\text{Br}_3$ ,  $(115)\text{I}_3$  би трябвало да бъдат добре разтворими и да хидролизират лесно до  $(115)\text{OX}$  ( $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ ), аналогично на съответните съединения на по-лека си аналог Bi, а  $(115)\text{F}_3$  – да бъде неразтворим.

Засега не е възможно експериментално определяне на свойствата на елемента поради малките периоди на полуразпадане на изотопите му.

### Елемент 116: Ливърморий (Livermorium, Lv)

Елементът е синтезиран през 2000 г. по реакцията



По-късно са синтезирани изотопите  $^{290}\text{116}$ ,  $^{291}\text{116}$  и  $^{292}\text{116}$  (Oganessian et al., 2001; 2004a; 2006a). През 2009 г. в лабораториите в Ливърмор и Дармщат е потвърден синтезът на изотопите на елемент 116. Най-дългоживущият изо-

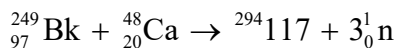
топ има период на полуразпадане 0,06 секунди. През 2012 г. работна група на IUPAC–IUPAP потвърди откритието на елемент 116, заедно с елемент 114 (Loss & Corish, 2012). След разглеждане на предложенията на откривателите, IUPAC е одобрил за елемент 116 името Ливърморий (Livermorium) в чест на Националната лаборатория в Ливърмор. Учените от Дубна са изявили желание елементът да бъде назван Московий (Moskovium), но това предложение не е било прието (Kuleff, 2013).

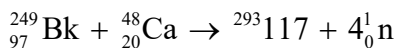
Предполага се, че електронната конфигурация на Lv е  $[\text{Rn}]5f^{14}6d^{10}7s^27p_{1/2}^27p_{3/2}^2$ , поради което елементът трябва да бъде включен в група 16 на Периодичната таблица. Независимо от еднаквата електронна конфигурация на Lv с останалите членове на групата е възможно свойствата му да се различават от свойствата на останалите елементи. Двете електронни двойки, заемащи орбиталите  $7s^2$  и  $7p_{1/2}^2$ , са инертни (в по-голяма степен  $7s^2$ ) в резултат на спин-орбиталното взаимодействие, но останалите два електрона, разположени на  $7p_u$ -орбиталите, могат да участват в образуване на химични връзки. Поради това степен на окисление II би била най-характерна за Lv, а степен на окисление IV би била нестабилна. Поради изключителната инертност на  $7s$ -електронната двойка степен на окисление VI не би могла да бъде достигната.

Засега не са осъществени експерименти за определяне на свойствата на Lv. Предвижданията за възможните съединения на елемента се основават на теоретични съображения. Чрез релативистични квантовомеханични изчисления е установено, че връзката  $\text{Lv—H}$  има по-голяма дължина и значително увеличение на ъгъла в молекулата  $\text{H—Lv—H}$  в сравнение с молекулата  $\text{H—Po—H}$ . Допуска се, че това е резултат от хибридизация между  $7p$ -атомна орбитала и „супервалентната“  $8s$ -атомна орбитала. Очаква се химията на Lv да бъде предимно катионна, като елементът проявява предимно втора степен на окисление. Само с най-електроотрицателните елементи той би могъл да прояви четвърта степен на окисление, напр.  $\text{LvF}_4$ . Поради металните свойства на Lv съединението  $\text{LvH}_2$  би трябвало по-скоро да бъде хидрид, отколкото диводороден ливърморийд, но все пак съединението би трябвало да бъде ковалентно молекулно съединение. Предсказано е и това, че леките халогениди  $\text{LvX}_2$  биха имали ъглова форма, а тежките – линейна (Pershina, 2009).

### Елемент 117: Унунсептий (Ununseptium, Uus)

Елементът е синтезиран през 2010 г. от руско-американски колектив чрез реакциите (Oganessian et al., 2010)





Получен е 1 атом от изотопа  ${}^{294}117$  и 5 атома от изотопа  ${}^{293}117$ . При следващи експерименти (Oganessian et al., 2012) са получени още 7 атома. До 2014 г. са получени общо 15 атома (Khuyagbaatar et al., 2014). Елемент 117 е получен най-късно от 7p-елементите, тъй като е имало проблеми с получаването на изотопа  ${}^{249}_{97}\text{Bk}$ . Той е необходим, понеже сумата от протоните му (97) и протоните на Ca (20) е равна на 117. Идеите за синтеза на елемент 117 датират още от 2004 – 2005 г., когато учени от Дубна са предложили на Националната лаборатория „Оук Ридж“, САЩ, (Oak Ridge National Laboratory) да проведат съвместни експерименти за синтез на елемент 117. По това време американската лаборатория е била единствен производител на изотопа  ${}^{249}_{97}\text{Bk}$ . Тъй като производството на изотопа по това време е било преустановено, синтезът на елемент 117 е бил временно изоставен и е започнала работа по синтеза на елемент 118. След като през 2008 г. производството на изотопа е било възстановено (синтезирани са 22 милиграма, достатъчни за провеждане на експеримент), е бил сформиран колектив от учени от Дубна и лабораториите в Оук Ридж и Ливърмор, които да проведат експериментите по синтеза на елемент 117 през 2009 – 2010 г. Тъй като периодът на полуразпадане на изотопа  ${}^{249}_{97}\text{Bk}$  е 330 дни, експериментите трябва да бъдат проведени не по-късно от 6 месеца от получаването на мишената, включително и времето, необходимо за пречистване и нанасяне на слой от 300 nm от изотопа върху титанова подложка. След изпълнение на тези условия експериментите са били проведени успешно (Hamilton et al., 2012).

Синтезът на елемент 117 и разпадането му до елементи 115 и 113 е потвърдено от международен екип изследователи. Експериментите са проведени в лабораторията GSI в Дармщат. Очаква се IUPAC да разгледа новите резултати и да прецени тяхната достоверност, за да бъде прието, че елементът е открит.

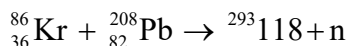
Предсказаната електронна конфигурация е  $[\text{Rn}]5f^{14}6d^{10}7s^27p_{1/2}^27p_{3/2}^3$ . Елементът би трябвало да бъде включен в група 17 на Периодичната таблица, които имат 7 електрона във външния си електронен слой. Очаква се елементът да прилича на халогените, но поради спин-орбиталното взаимодействие е възможно да има и някои различни свойства. Тъй като енергетичната разлика между  $7p_{1/2}$  и  $7p_{3/2}$ -орбиталите е значителна, основна роля в образуване на химични връзки би трябвало да имат трите електрона, заемащи  $7p_{3/2}$ -орбиталите. Участие на 6d-електрони при образуване на химични връзки не се очаква. Изчислената първа йонизационна енергия на елемент 117 е най-малка в групата и следователно той би трябвало да има най-малко сродство към електрона. По-лекият аналог на елемента в групата – At, при образуване на хидрид, проявява първа степен на окисление. Положителни степени на окисление биха били още по-характерни за елемент 117. Очаква се най-стабилната му степен

на окисление да бъде трета поради трите електрона, заемащи нестабилните  $7p_{3/2}$ -орбитали. Изчисления са показали, че са възможни, но по-малко стабилни, степени на окисление ( $-I, I, V$ ). Поради инертната  $7s$ -електронна двойка може да бъде прието, че валентните електрони са пет.

Както и при останалите  $7p$ -елементи, Теорията за отблъскване на валентните електронни двойки е неприложима за предсказване на молекулата  $117F_3$ . Теорията предсказва Т-образна форма на молекулата и останалите подобни молекули на халогените имат такава форма (централен атом, обграден от 3 лиганда и 2 несвързващи електронни двойки), но за молекулата  $117F_3$  се предсказва, че енергетично благоприятна би била плоска триъгълна форма (Pershina, 2009).

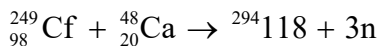
### Елемент 118: Унуноктий (Ununoctium, Uuo)

За първи път данни за синтеза на елемент 118 са публикувани от американски изследователи (Ninov et al., 1999). Според тях елементът е получен при реакцията



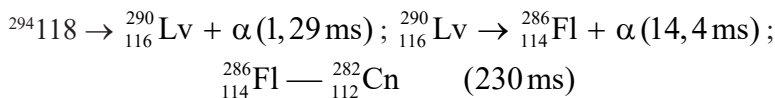
Претенциите за откритие са оттеглени официално през 2002 г. след като водещи лаборатории като RIKEN – Япония, и GSI – Дармщат, не са успели да потвърдят синтеза. Вътрешна проверка в американската лаборатория е установила, че данните от експериментите са манипулирани от един от авторите.

Реален синтез на елемент 118 е осъществен през 2002 г. при реакцията

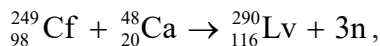


В резултат на експериментите е получен един атом на изотопа  ${}^{294}_{118}$ .<sup>2)</sup> Използвана е апаратурата за синтез на елементите 114 (Fl) и 116 (Lv).

В следващите години изследователи от Дубна и Ливърмор (Oganessian et al., 2006; Oganessian, 2006) са провели нови експерименти. Получаването на елемента е потвърдено чрез разпадните продукти на изотопа  ${}^{294}_{118}$ , а именно:



След това изотопът  ${}^{282}_{112}\text{Cn}$  се разпада на други частици. Важно доказателство за синтеза на изотопа  ${}^{294}_{118}$  е получаването на изотопа  ${}^{290}_{116}\text{Lv}$  по реакцията



тъй като е установено, че изотопът  ${}^{290}_{116}\text{Lv}$  действително е продукт от разпадането на  ${}^{294}_{118}$ . Изследователите са уверени, че въпреки малкия брой синтези-

рани изотопи на елемент 118 заключенията им не са погрешни. Вероятността за грешка е много малка.

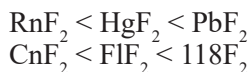
През 2011 г. обединена работна група на IUPAC–IUPAP е разгледала резултатите на руско-американската група от 2006 г. и е приела, че експериментите имат добра повтораемост, но за момента не са отговаряли на критериите за откритие. Руските учени смятат, че независимо от това, че елементът е синтезиран в сътрудничество с американски учени от Ливърмор, които са осигурили мишената от  $^{249}_{98}\text{Cf}$ , те би трябвало да имат право да предложат име на елемента, тъй като притежават единствената апаратура, позволяваща да се проведе синтезът.

Електронната конфигурация на елемента  $[\text{Rn}]5f^{14}6d^{10}7s^27p_{1/2}^27p_{3/2}^4$ , поради което той трябва да бъде причислен към 18 група на Периодичната таблица и следователно е последният елемент на VII период. Като член на група 18, елемент 118 би трябвало да има свойства, подобни на свойствата на благородните газове. В същото време може да се очаква, че поради много голямото спин-орбитално разцепване на 7p-атомните орбитали, изчислено на 11,8 eV (Pershina, 2009), четирите 7p<sub>3/2</sub>-електрона ще бъдат способни да участват в образуване на химични връзки и елементът би трябвало да бъде относително реакционноспособен, което не е характерно за благороден газ. Изчисления (Han et al., 2000) са показали, че елементът би трябвало да бъде по-реакционноспособен от Fl и Cn. Поради релативистичната стабилизация на 8s-атомната орбитала той би трябвало да има най-голяма електроотрицателност от всички благородни газове.

Съединения на елемента не са получени, но теоретични изчисления са показали, че енергията на връзката в молекулата (118)<sub>2</sub> би трябвало да бъде приблизително равна на енергията на връзката в молекулата Hg<sub>2</sub>, а дисоциационната ѝ енергия (6 kJ mol<sup>-1</sup>) – около 4 пъти по-голяма от дисоциационната енергия на Rn<sub>2</sub> (Nash, 2005). Поради запълнения електронен слой на елемента връзката му с водород би трябвало да бъде много слаба и може да се разглежда като вандерваалсова връзка, а не като истинска химична връзка. Предполага се, че стабилността на хидриди на елементи от 12, 14 и 18 група би трябвало да се изменя в реда



Най-характерните степени на окисление на елемент 118 са II и IV. Изчисления са показали, че стабилността на някои дифлуориди се изменя по следния начин



При 118F<sub>2</sub> би трябвало химичната връзка да бъде частично йонна, за разлика от ксеноновите флуориди поради електроположителността на елемента.

Предполага се, че елементът е достатъчно електроположителен, за да образува връзка 118 – Cl.

Поради на спин-орбитални ефекти (4 електрона на по-нестабилните  $7p_{3/2}$ -атомни орбитали) се очаква значителна стабилност на  $118F_4$ , но конфигурацията, характерна за  $XeF_4$  и  $RnF_4$ , би трябвало да бъде нестабилна за  $118F_4$ . Това се дължи на факта, че при елемент 118 стереохимичноактивни са само четирите  $7p_{3/2}$ -електрона, което стабилизира тетраедрична конфигурация, различна от квадратната конфигурация на  $XeF_4$  и  $RnF_4$ . Това е още един пример за неприменимостта на ТОВЕД при свърхтежките елементи. Големият атомен радиус на елемента е причина той да има практически еднаква адсорбционна енталпия с Rn. Поради това разделянето на двата елемента чрез адсорбция върху благороден метал се очаква да бъде трудно (Pershina, 2009).

#### БЕЛЕЖКИ

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ununtrium>,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Flerovium>,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Ununpentium>,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Livermorium>,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Ununseptium>,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Ununoctium>,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Ununoctium>
2. [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/34/080/34080043.pdf?r=1](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/34/080/34080043.pdf?r=1)

#### ЛИТЕРАТУРА

- Barber, R.C., Karol, P.J., Nakahara, H., Vardaci, E. & Vogt, E.W. (2011). Discovery of elements with atomic numbers greater than or equal to 113. *Pure Appl. Chem.*, 83, 1485 – 1498.
- Dülmann, C.E. (2012). Superheavy element 114 is a volatile metal. *NRC-8. EuCheMS, Int. Conf. Nuclear & Radiochemistry*, 18 Sept. 2012.
- Eicher, R. (2014). First foot prints of chemistry on the shore of superheavy elements. *J. Phys.: Conf. Series*, 420(1), art. no. 01203.
- Hamilton, J.S., Oganessian, Y.T. & Utyonkov, V.K. (2012). Discovery of elements 113, 115 and 117. *J. Phys.: Conf. Series* 403, art. no. 012035.
- Han, Y.-K., Bae, C. Son, S.-K. & Lee, Y.S. (2000). Spin-orbit effects on the transactinide p-block element monohydrides MH (M = element 113 – 118). *J. Chem. Phys.*, 112, 2684 – 2691.

- Khuyagbaatar, J., Yakushev, A., Düllmann, C.E., Ackermann, D., Andersson, L.L., Asai, M., Block, M., Boll, R.A., Brand, H., Cox, D.M., Dasgupta, M., Derkx, X., Di Nitto, A., Eberhardt, K., Even, J., Evers, M., Fahlander, C., Forsberg, U., Gates, J.M., Gharibyan, N., Golubev, P., Gregorich, K.E., Hamilton, J.H., Hartmann, W., Herzberg, R.D., Heßberger, F.P., Hinde, D.J., Hoffmann, J., Hollinger, R., Hübner, A., Jäger, E., Kindler, B., Kratz, J.V., Krier, J., Kurz, N., Laatiaoui, M., Lahiri, S., Lang, R., Lommel, B., Maiti, M., Miernik, K., Minami, S., Mistry, A., Mokry, C., Nitsche, H., Omtvedt, J.P., Pang, G.K., Papadakis, P., Renisch, D., Roberto, J., Rudolph, D., Runke, J., Rykaczewski, K.P., Sarmiento, L.G., Schädel, M., Schausten, B., Semchenkov, A., Shaughnessy, D.A., Steinegger, P., Steiner, J., Tereshatov, E.E., Thörle-Pospiech, P., Tinschert, K., Torres De Heidenreich, T., Trautmann, N., Türler, A., Uusitalo, J., Ward, D.E., Wegrzecki, M., Wiehl, N., Van Cleve, S.M. & Yakusheva, V. (2014). Fusion reaction leading to element  $Z = 117$ : long-lived  $\alpha$ -decaying  $^{270}\text{Db}$  and discovery of  $^{266}\text{Lr}$ . *Phys. Rev. Lett.*, 112, art. no. 172501.
- Koppenol, W.H. (2002). Naming of new elements: IUPAC recommendations, 2002. *Pure Appl. Chem.*, 74, 787 – 791.
- Kratz, J.V. (2012). The impact of the properties of the heaviest elements on the chemical and physical sciences. *Radiochim. Acta*, 100, 569 – 578
- Kuleff, I. (2013). Again about the end of the periodic table of chemical elements. *Chemistry*, 22, 286 – 298 [In Bulgarian].
- Loss, R.D. & Corish, J. (2012). Names and symbols of the elements with atomic numbers 114 and 116. *Pure Appl. Chem.*, 84, 1669 – 1672.
- Morita, K., Morimoto, K., Kaji, D., Akiyama, T., Goto, S.-i., Haba, H., Ideguchi, E., Kanungo, R., Katori, K., Koura, H., Kudo, H., Ohnishi, T., Ozawa, A., Suda, T., Sueki, K., Hu, H., Yamaguchi, T., Yoneda, A., Yoshida, A. & Zhao, Y.-L. (2004). Experiments of the synthesis of element 113 in the reaction  $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn},n)^{278}113$ . *J. Phys. Soc. Japn.*, 73, 2593 – 2596.
- Morita, K., Morimoto, K., Kaji, D., Akiyama, T., Goto, S.-i., Haba, H., Ideguchi, E., Katori, K., Koura, H., Kikunaga, H., Kudo, H., Ohnishi, T., Ozawa, A., Sato, N., Suda, T., Sueki, K., Tokanai, F., Yamaguchi, T., Yoneda, A. & Yoshida, A. (2007). Observations of the second decay chain from  $^{278}113$ . *J. Phys. Soc. Japn.*, 76, art. no. 045001.
- Morita, K., Morimoto, K., Kaji, D., Haba, H., Ozeki, K., Kudou, Y., Sumita, T., Wakabayashi, Y., Yoneda, A., Tanaka, K., Yamaki, S., Sakai, R., Akiyama, T., Goto, S.-i., Hasebe, H., Huang, M., Huang, T., Ideguchi, E., Kasamatsu, Y., Katori, K., Kariya, Y., Kikunaga, H., Kuora, H., Kudo,

- H., Mashiko, A., Mayama, K., Mitsuoka, S-i., Moriya, T., Mukarami, M., Murayama, H., Namai, S., Ozawa, A., Sato, N., Sueki, K., Takeyama, M., Tokanai, F., Yamaguchi, T. & Yoshida, A. (2012). New results in the production and decay of an isotope  $^{278}113$  of the 113<sup>th</sup> element. *J. Phys. Soc. Japn.*, 81, art. no. 103201.
- Nash, K.S. (2005). Atomic and molecular properties of elements 112, 114 and 118. *J. Phys. Chem. A*, 109, 3493 – 3500.
- Ninov, V., Gregorich, K.E., Loveland, W., Ghiorso, A., Hoffman, D.C., Lee, D.M., Nitsche, H., Swiatecki, W.J., Kirbach, U.W., Laue, C.A., Adams, J.L., Patin, J.B., Shaughnessy, D.A., Strellis, D.A. & Wilk, P.A. (1999). Observation of superheavy nuclei produced in the reaction of  $^{86}\text{Kr}$  with  $^{208}\text{Pb}$ . *Phys. Rev. Lett.*, 83, 1104 – 1107.
- Oganessian, Y.T. (2006). Synthesis and decay properties of superheavy elements. *Pure Appl. Chem.*, 78, 889 – 904
- Oganessian, Y. (2007). Heaviest nuclei from  $^{48}\text{Ca}$ -induced reactions. *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.*, 34, R165 – R242.
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Shirokovsky, I.V., Tsyganov, Y.S., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Gikal, B.N., Mezentsev, A.N., Iliev, S., Subbotin, V.G., Sukhov, A.M., Buklanov, G.V., Subotic, K., Itkis, M.G., Moody, K.J., Wild, J.F., Stoyer, N.J., Stoyer, M.A. & Loughheed, R.W. (1999). Synthesis of superheavy nuclei in the  $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}$  reaction. *Phys. Rev. Lett.*, 83, 3154 – 3157.
- Oganessian, Y. T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Shirokovsky, I.V., Tsyganov, Y.S., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Gikal, B.N., Mezentsev, A.N., Iliev, S., Subbotin, V.G., Sukhov, A.M., Ivanov, O.V., Buklanov, G.V., Subotic, K., Itkis, M.G., Moody, K.J., Wild, J.F., Stoyer, M.A. & Loughheed, R.W. (2000). Synthesis of superheavy nuclei in the  $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}$  reaction:  $^{288}114$ . *Phys. Rev. C*, 62, 041604(R).
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Shirokovsky, I.V., Tsyganov, Y.S., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Gikal, B.N., Mezentsev, A.N., Iliev, S., Subbotin, V.G., Sukhov, A.M., Ivanov, O.V., Buklanov, G.V., Subotic, K., Itkis, M.G., Moody, K.J., Wild, J.F., Stoyer, N.J., Loughheed, R.W., Laue, C.A., Karelin, Y.A. & Tatarinov, A.N. (2001). Observation of the decay of  $^{292}116$ . *Phys. Rev. C*, 63, 011301(R).
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Shirokovsky, I.V., Tsyganov, Y.S., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Gikal, B.N., Mezentsev, A.N., Iliev, S., Subbotin, V.G., Sukhov, A.M., Voinov, A.A., Buklanov, G.V., Subotic,

- K., Zagrebaev, V.I., Itkis, M.G., Patin, J.B., Moody, K.J., Wild, J.F., Stoyer, M.A., Stoyer, N.J., Shaughnessy, D.A., Kenneally, J.M., Wilk, P.A., Loughheed, R.W., Il'kaev, R.I. & Vesnovskii, S.P. (2004a). Measurements of cross sections and decay properties of the isotopes of elements 112, 114 and 116 produced in the fusion reactions  $^{233,238}\text{U}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  and  $^{245}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$ . *Phys. Rev. C*, 70, art. no. 064609.
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Shirokovsky, I.V., Tsyganov, Y.S., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Mezentsev, A.N., Iliev, S., Subbotin, V.G., Voinov, A.A., Buklanov, G.V., Subotic, K., Zagrebaev, V.I., Itkis, M.G., Patin, J.B., Moody, K.J., Wild, J.F., Stoyer, M.A., Shaighnessy, D.A., Kenneally, J.M. & Loughheed, E.W. (2004b). Experiments on the synthesis of elements 115 and 113 in the reaction  $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca},\text{xn})^{291-x}115$ . *Phys. Rev. C*, 69, art. no. 021601(R).
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Shirokovsky, I.V., Tsyganov, Y.S., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Gikal, B.N., Mezentsev, A.N., Iliev, S., Subbotin, V.G., Sukhov, A.M., Voinov, A.A., Buklanov, G.V., Subotic, K., Zagrebaev, V.I., Itkis, M.G., Patin, J.B., Moody, K.J., Wild, J.F., Stoyer, M.A., Stoyer, N.J., Shaughnessy, D.A., Kenneally, J.M. & Loughheed, R.W. (2004c). Measurements of cross sections for the fusion – evaporation reactions  $^{244}\text{Pu}(^{48}\text{Ca},\text{xn})^{292-x}114$  and  $^{245}\text{Cm}(^{48}\text{Ca},\text{xn})^{293-x}116$ . *Phys. Rev. C*, 69, art. no. 054607.
- Oganessian, Y., Utyonkov, V.K., Dmitriev, S.N., Lobanov, Y.V., Itkis, M.G., Polyakov, A.N., Tsyganov, Y.S., Mezentsev, A.N., Yerebin, A.V., Voinov, A.A., Sokol, E.A., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Iliev, S., Subbotin, V.G., Sukhov, A.M., Buklanov, G.V., Shishkin, S.V., Chepygin, V.I., Vostokin, G.K., Aksenov, N.V., Hussonnois, M., Subotie, K., Zagrebaev, V.I., Moody, K.J., Patin, J.B., Wild, J.F., Stoyer, M.A., Shaighnessy, D.A., Kenneally, J.M., Wilk, P.A., Loughheed, R.W., Gäggeler, H.W., Schumann, D., Bruchertseifer, H. & Eichler, R. (2005). Synthesis of elements 115 and 113 in the reaction  $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ . *Phys. Rev. C*, 72, 034611.
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Sagaidak, R.N., Shirokovsky, I.V., Tsyganov, Y.S., Voinov, A.A., Gulbekian, G.G., Bogomolov, S.L., Gikal, B.N., Mezentsev, A.N., Iliev, S., Subbotin, V.G., Sukhov, A. M., Subotic, K., Zagrebaev, V.I., Vostokin, G.K., Itkis, M.G., Moody, K.J., Patin, J. B., Shaughnessy, D.A., Stoyer, M.A., Stoyer, N.J., Wilk, P.A., Kenneally, J. M., Landrum, J.H., Wild, J.F. & Loughheed, R.W. (2006). Synthesis of the isotopes of

- elements 118 and 116 in the  $^{249}\text{Cf}$  and  $^{245}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$  fusion reactions. *Phys. Rev. C*, 74, art. no. 044602.
- Oganessian Y.T., Abdullin, F.S., Bailey, P.D., Benker, D.E., Bennett, M.E., Dmitriev, D.N., Ezold, J.G., Hamilton, J.H., Henderson, R.A., Itkis, M.G., Lobanov, Y.V., Mezentsev, A.N., Moody, K.J., Nelson, S.L., Polyakov, A.N., Porter, C.E., Ramayya, A.V., Riley, F.D., Roberto, J.B., Ryabiniin, M.A., Rykaczewski, K.P., Sagaidak, R.N., Shaughnessy, D.A., Shirokovsky, I.V., Stoyer, M.A., Subbotin, V.G., Sudowe, R., Sukhov, A.M., Tsyganov, Y.S., Utyonkov, V.K., Voinov, A.A., Vostokin, G.K. & Wilk, P.A. (2010). Synthesis of a new element with atomic number  $Z = 117$ . *Phys. Rev. Lett.*, 104, art. no. 142502.
- Oganessian, Y.T., Abdullin, F.S., Alexander, C., Binder, J., Boll, R.A., Dmitriev, S.N., Ezold, J., Felker, K., Gostic, J.M., Grzywacz, R.K., Hamilton, J.H., Henderson, R.A., Itkis, M.G., Miernik, K., Miller, D., Moody, K.J., Polyakov, A.N., Ramayya, A.V., Roberto, J.B., Ryabiniin, M.A., Rykaczewski, K.P., Sagaidak, R.N., Shaughnessy, D.A., Shirokovsky, I.V., Shumeiko, M.V., Stoyer, M.A., Stoyer, N.J., Subbotin, V.G., Sukhov, A.M., Tsyganov, Y.S., Utyonkov, V.K., Voinov, A.A. & Vostokin, G.K. (2012). Production and decay of the heaviest nuclei  $^{293,294}117$  and  $^{294}118$ . *Phys. Rev. Lett.*, 109, art. no. 162501.
- Pershina, V. (2009). Electronic structure and chemical properties of superheavy elements. *Russ. Chem. Rev.*, 78, 1153 – 1171.
- Pyykkö, P. (2011). A suggested periodic table up to  $Z \leq 172$ , based on Dirac-Fock calculations on atoms and ions. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13, 161 – 168.
- Rudolph, D., Forsberg, U., Golubev, P., Sarmiento, L.G., Yakushev, A., Andersson, L.-L., Di Nittom, A., Düllmann, C.E., Gates, J.M., Gregorich, K.E., Gross, C.J., Heßberger, F.P., Herzberg, R.-D., Khuyagbaatar, J., Kratz, J.V., Rykaczewski, K., Schädel, M., Åberg, S., Ackermann, D., Block, M., Brand, H., Carlsson, B.G., Cox, D., Derks, X., Eberhardt, K., Even, J., Fahlander, C., Gerl, J., Jäger, E., Kindler, B., Krier, J., Kojouharov, I., Kurz, N., Lommel, B., Mistry, A., Mokry, C., Nitsche, H., Omtvedt, J.P., Papadakis, P., Ragnarsson, I., Runke, J., Schaffner, H., Schausten, B., Thörle-Pospiech, P., Torres, T., Traut, T., Trautmann, N., Türler, A., Ward, A., Ward, D.E. & Wield, N. (2013). Spectroscopy of element 115 decay chains. *Phys. Rev. Lett.*, 111, art. no. 112502.
- Schädel, M. (2012). Chemistry of superheavy elements. *Radiochim. Acta*, 100, 579 – 604.
- Schädel, M. (2015). Chemistry of superheavy elements. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 373(2037), art. no. 20140191.

- Schwerdtfeger, P. (2013). One flerovium atom at a time. *Nature Chemistry*, 5, 636.
- Schwerdtfeger, P. & Seth, M. (2002). Relativistic quantum chemistry of the superheavy elements: closef-shell element 114 as a case study. *J. Nucl. Radioanal. Sci.*, 3, 133 – 136.
- Yakushev, A., Gates. J.M., Türler, A, Schädel, M., Düllmann. C.E., Ackermann, D., Andersson, L.L., Block, M., Brüchle, W., Dvorak, J., Eberhardt, K., Essel, H.G., Even, J., Forsberg, U., Gorshkov, A., Graeger, R., Gregorich, K.E., Hartmann, W., Herzberg, R.D., Hessberger, F.P., Hild, D., Hübner, A., Jäger, E., Khuyagbaatar, J., Kindler, B., Kratz, J.V., Krier, J., Kurz, N., Lommel, B., Niewisch, L.J., Nitsche, H., Omtvedt, J.P., Parr, E., Qin, Z., Rudolph, D., Runke, J., Schausten, B., Schimpf, E., Semchenkov, A., Steiner, J., Thörle-Pospiech, P., Uusitalo, J., Wegrzecki, M. & Wiehl, N. (2014). Super-heavy element flerovium (element 114) is a volatile metal. *Inorg. Chem.*, 53, 1624 – 1629.
- Zagrebaev, V., Karpov, A. & Greiner, W. (2013). Future of superheavy element research: which nuclei could be synthesized in the next few years. *J. Phys.: Conf. Series*, 420(1), art. no. 012001.

## SUPERHEAVY CHEMICAL ELEMENTS 113 – 118: SYNTHESSES, NAMING AND PROPERTIES

**Abstract.** Superheavy chemical elements 113 – 118 are 7p-elements and are members of groups 13 – 18 of the Periodic Table. Their properties depend on, in significant extent, of relativistic effects: direct, indirect and spin-orbit splitting. These effects permit to be predicted that chemical properties of the elements will differ significantly than the properties of the lighter members of the groups. It is difficult to carry out real experiments because of the short-lived isotopes of the elements. However some experiments have been realized and the results confirm the predicted properties. The hypothesis for existing of “island of stability” centered at element 114 (Flerovium) has not been confirmed. Instead, there is a region of superheavy nuclei with enhanced stability.

✉ **Prof. Dr. I. L. Dukov, DSc.**

Department of General and Inorganic Chemistry  
University of Chemical Technology and Metallurgy  
1756 Sofia, Bulgaria  
E-mail: idukov@abv.bg