

ОТНОВО ЗА КРАЯ НА ПЕРИОДИЧНАТА ТАБЛИЦА НА ХИМИЧНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Ивелин Кулев

Софийски университет „Св. Климент Охридски“

Резюме. В тази статия е разказана историята на откриването на най-тежките елементи – фльоровий и ливърморий, в периодичната таблица на химичните елементи. Описан е експериментът, довел до откриването на фльоровия. Накрая е представена една дискусия за възможния край на таблицата на химичните елементи.

Keywords: flerovium, livermorium, periodic table

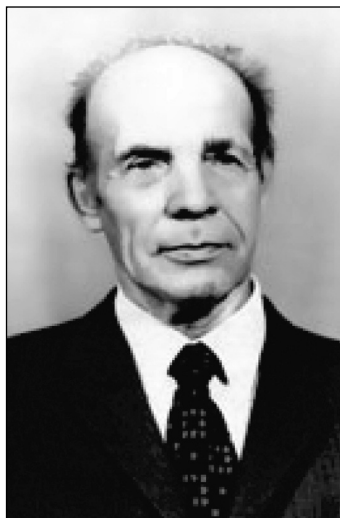
Въведение

В края на май 2012 г. Комисията към Международния съюз за чиста и приложна химия – IUPAC, която има специални правила за наименоуване на новооткритите елементи (Loss & Corish, 2012; Корпенол, 2002 и Кuleff, 2005), възприема предложението на откривателите на 114 и 116 елемент и им дава имената *Flerovium* (за 114-ия елемент) и *Livermorium* (за 116-ия елемент) (Приложение).

Химичният знак на *Flerovium* е Fl. На български език името му би трябвало да се произнася – *Фльоровий*, тъй като неговото название, което до май 2012 година бе известно като Uuq (Ununquadium), е дадено в чест на Лабораторията за ядрени реакции „Фльоров“ към Обединения институт за ядрени изследвания в Дубна, Русия. Всъщност предложението на Обединения институт за ядрени изследвания е названието *Flerovium* да бъде дадено в чест на съветския физик Георгий Николаевич Фльоров (1913–1990). Академикът на СССР Георгий Фльоров (*Георгий Николаевич Флеров*) е един от основателите на Обединения институт за ядрени изследвания в Дубна, Русия, в чиято лаборатория още през декември 1998 г. е проведен първият успешен синтез на 114-ия елемент (Oganessian et al., 2000). Той е пионер в синтеза и изследването на свръхтежките ядра в Периодичната таблица на елементите, а заедно с *Константин Антонович Петржак* (1907–1998) през 1940 г. открива спонтанното делене на урана (Петржак & Флеров, 1940). В този смисъл изявите му като физик заслужават напълно честта да бъдат увековечени чрез името на един от свръхтежките елементи. Комисията към IUPAC обаче не възприема това предложение, доколкото името на Георгий Фльоров става известно още през 40-те години на миналия век от един доклад на Сталин, в който той е споменат като един от физиците, работещи по разработването на ядрената бомба на тогавашния СССР.



Георгий Николаевич Фльоров



Константин Антонович Петржак

Химичният знак на 116-ия елемент – *Livermorium*, е Lv и носи името на Националната лаборатория „Лорънс Ливърмор“ (*Lawrence Livermore National Laboratory*). Това е лабораторията, намираща се в град Ливърмор, Калифорния (САЩ), който носи името на американския притежател на ранчо Робърт Ливърмор (Robert Livermore – 1799–1858). Екип от тази лаборатория участва активно в експериментите, провеждани в Обединения институт за ядрени изследвания в Дубна и именно тази лаборатория потвърждава откритията, направени в Дубна. Тя участва активно и в синтеза на елементите с поредни номера от 113 до 118, а елементът с пореден номер 103 е наречен *лоуренсий* в чест на американския физик и носител на Нобелова награда за 1939 г. Ърнст Лоурънс (*Ernest Orlando Lawrence* – 1901–1958). Името на Лоурънс става известно с идеите му за построяване на ускорители на заредени частици и основаването на Националната лаборатория Лорънс Ливърмор. На български език 116-ият химичен елемент следва да се произнася *Ливърморий*.

Може би тук следва да се съобщи, че първоначалното предложение на руските откриватели от Дубна е названието на 116-ия елемент да бъде *московий* (*moskovium*) на името на Московска област, където е разположен и град Дубна. Комисията към IUPAC обаче не възприема това предложение и 116-ият химичен елемент е наречен *Livermorium*. До май 2012 той е познат като *Uuh* (*Ununhexium*).



Ърнст Лоурънс

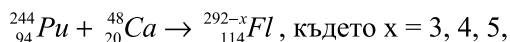
Ядрен синтез на флъоровий

До днес са наблюдавани 80 разпадания на атоми на флъоровий. При това 50 от тях са на разпадания на атоми на флъоровия, а 30 са разпадания на по-тежкия 116-и елемент, чиито ядрени превръщания водят до получаване на ядра на 114-ия елемент – флъоровий (Oganessian et al., 2004). Всички ядрени превръщания се отнасят за изотопи на флъоровия с масови числа от 285 до 289. Най-дълго живеещият изотоп на флъоровия има масово число 289 (^{289}Fl) и период на полуразпадане от около 2,6 секунди. Съществуват обаче индикации за съществуването на ядрен изомер – ^{289b}Fl , за който периодът на полуразпадане би следвало да бъде около 66 секунди! Това е интервал от време, чрез което този изотоп би следвало да бъде най-дълго живеещият изотоп в областта на свръхтежките елементи (Zagrebaev, 2004) или представеното в Таблица 3.

Експериментите по синтеза на флъоровия се отнасят към два вида ядрени реакции на синтез – реакции на „студено сливане“ и реакции на „горещо сливане“. Ядрените реакции на „студено сливане“ са реакции на синтез на атомни ядра, при които енергиите на възбуждане при образуване на съставното ядро от мишената и бомбардиращото ядро са от порядъка на 10–20 MeV и водят до по-висока вероятност на оцеляване на ядрото-продукт по отношение на ядрено делене. Такова ядро обикновено се разпада и достига основното си състояние посредством емисия на 1–2 неутрона.

Ядрените реакции на синтез, които носят названието реакции на „горещо сливане“, са реакции, при които енергиите на възбуждане са от порядъка на 40–50 MeV и водят до намаляване на вероятността за оцеляване на новополученото ядро посредством ядрено делене. Поради това възбудените ядра достигат до основно състояние обикновено чрез емисия на 3 до 5 неутрона.

Когато като бомбардиращо ядро се използва ускорено ядро на калция с масово число 48 ($^{48}_{20}\text{Ca}$), т.е. реакция с ядро, което се характеризира с междинна енергия на възбуждане (около 30–35 MeV), то твърде често такива ядрени реакции се наричат реакции на „топло сливане“. Точно такива са реакциите от типа:



които са използвани при синтеза на атоми на фльоровия.

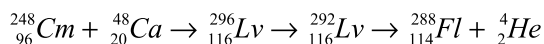
Проблемите за ядрения синтез на фльоровия ($^{298}_{114}\text{Fl}$) се крият в това, че бомбардиращата частица би трябвало да доведе до съставно ядро, съдържащо 184 неутрона. Теоретически обаче е трудно да се предвиди поведението на ядро, съдържащо толкова много неутрони. Все пак чрез подходящи пресмятания беше показано, че ядро на актиниди ($^{244}_{96}\text{Pu}$) и ускорено ядро на калций ($^{48}_{20}\text{Ca}$) могат да доведат до синтез на фльоровия (Таблица 1).

Таблица 1. Хронология на синтеза на фльоровия

№	ядрена реакция	година на провеждане	синтезиран изотоп
1	$^{244}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{289b}_{114}\text{Fl} + 3^1_0n$	1998	$^{289b}_{114}\text{Fl}$
2	$^{244}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{289a}_{114}\text{Fl} + 3^1_0n$	1999	$^{289a}_{114}\text{Fl}$
3	$^{244}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{287b}_{114}\text{Fl} + 3^1_0n$	1999	$^{287b?}_{114}\text{Fl}$
4	$^{249}_{98}\text{Cf} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{286}_{114}\text{Fl} + 3^1_0n$	2002	$^{286}_{114}\text{Fl}$
5	$^{242}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{285}_{114}\text{Fl} + 5^1_0n$	2002	$^{287a}_{114}\text{Fl}$
6	$^{244}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{285}_{114}\text{Fl} + 4^1_0n$	2002	$^{288}_{114}\text{Fl}$
7	$^{244}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{287a}_{114}\text{Fl} + 5^1_0n$	2003	
8	$^{208}_{82}\text{Pb} + ^{76}_{32}\text{Ge} \rightarrow ^{284-x}_{114}\text{Fl} + x^1_0n$	2010	$^{285}_{114}\text{Fl}$

Едно непотвърдено откриване на фльоровия е направено още през юни 1999 г. в Дубна с участието на екип от лабораторията в Ливърмор. Облъчва се мишена

от плутоний (^{244}Pu) с ускорени ядра на калций. Протича ядрената реакция:
 $^{244}_{94}\text{Pu} + ^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{289a}_{114}\text{Fl} + 3^1_0\text{n}$. Регистрирано е алфа-разпадане на новополучения атом с енергия 9,82 MeV с период на полуразпадане от 2,6 секунди. На следващата година е проведен нов експеримент, в който за мишена е използван изотоп на кюрия, облъчван с ускорени ядра на калция. Протича ядрена реакция, водеща до синтез на ливърморий – ^{292}Lv , който чрез излъчване на алфа-частица с енергия 10,54 MeV се превръща в изотоп на фльоровия – ^{288}Fl :



В този експеримент е регистрирано и разпадане на атом на фльоровия, което се приписва на неговия изотоп – $^{289}_{114}\text{Fl}$. Експерименталните данни потвърждават предвижданията на теоретичните пресмятания за периода на полуразпадане по отношение на алфа-разпадането. Същевременно теоретичните пресмятания предвиждат, че изотопът на фльоровия с масово число 298 ($^{298}_{114}\text{Fl}$) би трябвало да притежава период на полуразпадане по отношение на алфа-разпадане от 17 дни! Следователно това ядро действително би трябвало да принадлежи към „острова на стабилност“. Експериментално обаче това не е потвърдено.

В Таблица 1 са представени използваните ядрени реакции за синтез, годината на тяхното провеждане и полученият чрез това изотоп на фльоровия. Първото потвърждение на резултатите от студентите ядрени реакции и получените атоми от фльоровия в Дубна бяха получени във Франция през 2003 г. По-късно ядреният синтез на фльоровия беше потвърден през януари 2009 г. чрез експерименти, проведени на газонапълнените сепаратори в ядрения център в Бъркли, САЩ, като бе потвърден синтезът на $^{287}_{114}\text{Fl}$ и $^{286}_{114}\text{Fl}$. През същата година потвърждение на ядрения синтез бе получено както в швейцарския институт „Паул Шерер“, така и в германския център „Хелмхолц“ за изследване на тежки йони в Дармщадт.

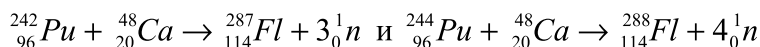
Химични свойства на фльоровий

Всички членове на IV група, т.е. германий (Ge), калай (Sn) и олово (Pb), към която следва да принадлежи и фльоровият (Приложение), притежават степен на окисление +IV. Последните членове на групата обаче проявяват нарастваща способност да проявяват и степен на окисление +II поради ефекта на вътрешно сдвояване. При калай стабилността на +II и +IV степените на окисление са равни. При оловото обаче – най-тежкия член на групата IVa, превключването от +IV степен на окисление към +II степен окисление е напълно характерно (Киркова, 2007). Следвайки тази линия на прилика, фльоровият би следвало да се характеризира с +IV и +II степени на окисление.

Първоначално се възприема, че фльоровият ще бъде химичен аналог на IV група на Периодичната таблица на елементите и той би следвало да проявява химичните свойства на ека-олово. Поради това фльоровият следва да образува монооксид (FIO) и дихалиди – FIF_2 , FICl_2 , FIBr_2 , FI_2 . Същевременно трябва да е познат и FIO_2 , както и тетрафлуоридът му FIF_4 . Все по тази линия на прилика с оловото фльоровият би трябвало да образува и смесения оксид F_3O_4 .

Химичните отнасяния на фльоровия започват да се изучават през 2007 г. Те показват обаче, че фльоровият, който би следвало да бъде химичен аналог на оловото, поради проява на релативистични ефекти, пръв сред най-тежките елементи се държи като благороден газ и проявява някои свойства на радона – продукт на радиоактивното разпадане на урана.

Тези химични свойства на фльоровия бяха доказани в експерименти, проведени съвместно от лабораторията „Фльоров“ и швейцарския институт „Паул Шерер“. Фльоровият е получаван по реакциите:



Изследвана е абсорбцията на получените ядра от фльоровия (${}^{287}\text{Fl}$, ${}^{288}\text{Fl}$ и вероятно ${}^{289}\text{Fl}$) върху повърхността на златна пластинка. Тези експерименти показват, че атомите на фльоровия се държат подобно на атоми на радона (${}^{222}_{86}\text{Rn}$), т.е. проявяват химични свойства на благородните газове.

В следващ експеримент, проведен през 2008 г., тези експериментални резултати се потвърждават и доказват, че фльоровият проявява химична прилика с благородните газове – хелий-радон. Квантовите пресмятания показват дори, че фльоровият няма да образува тетрафлуорид (FIF_4), но ще бъде познат дифлуоридът му (FIF_2), който ще е разтворим във вода.

Така беше показано, че далеч преди да бъде достигната групата на „благородните“ газове, свръхтежките елементи започват да проявяват свойства на газовете (хелий-радон). Това е едно ново качество, което би могло да се окаже валидно за края на Периодичната система на химичните елементи.

Ядрен синтез на ливърморий

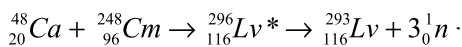
Първият синтез на ливърмория е предприет още през 1977 г. от екип на Националната лабораторията „Лорънс Ливърмор“, но той не успява да регистрира атоми на ливърмория. През 1998 г. екип на германския център „Хелмхолц“ за изследване на тежки йони в Дармщадт прави опити да синтезира ${}_{116}^{290}\text{Lv}$, но също не е в състояние да регистрира нито един атом (Таблица 2).

Таблица 2. Хронология на синтеза на ливърмория

№	ядрена реакция	година на провеждане	синтезиран изотоп
1	${}_{96}^{248}\text{Cm} + {}_{20}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}_{116}^{293}\text{Lv} + 3{}_0^1\text{n}$	2000	${}_{116}^{293}\text{Lv}$
2	${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_{20}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}_{116}^{290}\text{Lv} + 3{}_0^1\text{n}$	2002	${}_{116}^{290}\text{Lv}$
3	${}_{96}^{245}\text{Cm} + {}_{20}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}_{116}^{291}\text{Lv} + 2{}_0^1\text{n}$	2003	${}_{116}^{291}\text{Lv}$
4	${}_{96}^{248}\text{Cm} + {}_{20}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}_{116}^{292}\text{Lv} + 4{}_0^1\text{n}$	2004	${}_{116}^{292}\text{Lv}$

През 2000 г. обаче екип от Дубна успява да синтезира един атом от ливърмория с масово число 292 (${}_{116}^{292}\text{Lv}$). На следващата година експериментът е повторен успешно и са синтезирани други два атома. Третият атом от ливърмория е идентифициран като ${}_{116}^{293}\text{Lv}$ въз основа на липсващото алфа-разпадане.

Екипът от Дубна повтаря експериментите си през април–май 2005 г., като регистрира нови 8 атома на ливърмория. Чрез това се потвърждава съществуването на изотопа на ливърмория с масово число 293 (${}_{116}^{293}\text{Lv}$), получаван по реакцията:



През 2010 г. се провеждат експерименти в германския център „Хелмхолц“ за изследване на тежки йони в Дармщат, като са синтезирани 6 атома на ливърмория – два са атоми на ${}_{116}^{293}\text{Lv}$, а 4 са на ${}_{116}^{292}\text{Lv}$. Така са потвърдени двата механизма на радиоактивно разпадане и напречните сечения на реакцията, водеща до образуване на ливърмория.

Обстоятелството, че успешно е регистриран ${}_{116}^{290}\text{Lv}$ чрез радиоактивното разпадане на ${}_{118}^{294}\text{Uuo}$ (ununoctium), вече е стъпка към синтезирането на елемента с пореден номер 118 (Oganessian, 2012).

До днес са синтезирани или получени чрез радиоактивното разпадане на ununoctium 35 атома от ливърмория. Получени са изотопи с маси от 290 до 293, като за най-тежкия изотоп (${}_{116}^{293}\text{Lv}$) е определен период на полуразпадане от 0,06 s.

Химични свойства на ливърморий

Химически 116-ият елемент – ливърморий, който е аналог на групата селен (Se), телур (Te) и полоний (Po) в Периодичната система на елементите, би следвало да проявява известна прилика с тези елементи, т.е. той би следвало да се разглежда като „ека-полоний“. Тази група от елементи проявява степен на окисление +VI, но достига и до +II. Степен на окисление +IV е характерна за сярата, селена,

телура и полония, като за телура тази степен на окисление дори е най-стабилна (Киркова, 2007). Поради тази прилика на ливърмория с елементите от осма група (Приложение) степен на окисление +IV следва да е характерна за ливърмория, а степен на окисление +II би трябвало да е най-стабилна. Така оксид от вида LvO_2 ще бъде напълно реален, но място трябва да има и LvO_3 , въпреки че е по-малко вероятен. Високата стабилност на степента на окисление +II означава, че оксид от вида LvO ще бъде може би най-стабилен. За флуоридите се предвижда LvF_4 , но ще имат място още LvF_2 и дори LvF_6 , за когото обаче се предполага, че ще е много малко вероятен. Като хлориди и бромиди се предвиждат LvCl_2 и LvBr_2 , докъдето най-вероятно ще спре стабилността на халогенидите, т.е. степен на окисление +II (Van Wüllen & Langermann, 2007).

Много краткият период на полуразпадане на изотопите на ливърмория затруднява силно провеждането на експерименти за доказване на химичните свойства на елемента, което е едно от условията за възприемане на съобщенията за синтез на свръхтежък елемент от IUPAC (Kuleff, 2005). Това вероятно е причината от IUPAC да бъдат възприети данните, получени за химическите отнасяния на ливърмория въз основа само на компютърни пресмятания.

За края на Периодичната система на елементите

Атомните ядра се състоят от протони и неутрони (нуклеони), които, подобно на електроните, обикалящи около ядрото, се групират в слоеве. Слоевете, както и при електроните, се наричат орбитали. Във всеки слой нуклеоните се разпределят съгласно енергията, която притежават, като при запълването им са валидни правилата на Хунд (Friedrich Hermann Hund – 1896–1997), на Паули (Wolfgang Ernst Pauli – 1900–1958), на Маделунг (Erwin Madelung – 1881–1972) (Киркова, 2001). Когато броят на нуклеоните запълни напълно даден слой от нуклеони на ядрото, енергията на свързване на нуклеона с атомното ядро достига своя максимум. Тогава при дадена конфигурация на нуклеони, периодът на полуразпадане на даден изотоп би бил максимален.

През 30-те години на миналия век бе установено, че съществуват т. нар. „магически числа“, а по-късно, в края на 40-те години, техният брой бе разширен. Това са числа, съответстващи на сумата от протоните и неутроните в атомното ядро или само на броя на протоните или на неутроните. Такива са числата: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. Към тях по-късно бе добавено и числото 184. При сферично ядро за броя на неутрони от 183 това би означавало ядрото на фльоровия – $^{298}_{114}\text{Fl}$. Към това би трябвало да се добави и елементът с пореден номер 120 – unbinilium, чиято маса при 184 неутрона би трябвало да бъде 304. Все към тези магически числа принадлежи и елементът с пореден номер 126 – unbihexium, чиято маса вече е 310 и представлява двойно магическо ядро, т.е. както броят на протоните, така и

броят на неутроните в неговото ядро съответстват на „магическите“ числа. Според теорията тези елементи би трябвало да се характеризират с много дълги периоди на полуразпадане. Изотопите, притежатели на най-дългите периоди на полуразпадане, както и броят на неутроните за елементите с поредни номера, по-големи от 100, са представени в Таблица 3. Както може да се види, периодите на полуразпадане за изотопите, принадлежащи на елементите в „острова на стабилност“ не са толкова големи, т.е. те са от порядъка на минути, докато теоретическите пресмятания показват периоди на полуразпадане от порядъка на 10^9 години, което съответства на милиарди години.

Може би за сравнение е необходимо да се добави, че сред елементите с пореден номер по-малък от 100 най-кратък период на полуразпадане от 22 минути е регистриран за елемента франций с пореден номер 87.

В края на 60-те години на миналия век носителят на Нобелова награда по химия за 1951 г. американският радиохимик Глен Сиборг (*Glen Seaborg* – 1912–1999) разви хипотезата, че съществува т.нар. „остров на стабилност“, опирайки се на модела на ядрото, известен като „модел на обвивките“ (Loveland et al., 2006). Така, когато поредният номер на елемента е 114, теорията предвижда, че при брой на неутроните 184, ще бъде достигнат центърът на „острова на стабилност“. Това означава, че ядрото на фльоровий с масово число 298 ($^{298}_{114}\text{Fl}$) е кандидатът за следващото магическо ядро след изотопа на оловото ($^{126}_{82}\text{Pb}$), т.е. $^{298}_{114}\text{Fl}$ би трябвало да бъде хипотетичният център на „острова на стабилност“.

Таблица 3. Най-дългите периоди на полуразпадане на елементите с пореден номер, по-голям от 100

Име	Изотоп	Брой неутрони	Период на полуразпадане
Фермий	$^{257}_{100}\text{Fm}$	157	101 d
Менделевий	$^{258}_{101}\text{Md}$	157	52 d
Нобелий	$^{259}_{102}\text{No}$	157	58 m
Лоуренсий	$^{262}_{103}\text{Lr}$	159	3,6 h
Радърфордий	$^{267}_{104}\text{Rf}$	163	1,3 h
Дубний	$^{268}_{105}\text{Db}$	163	29 h
Сиборгий	$^{271}_{106}\text{Sg}$	165	1,9 m

Борий	$^{270}_{107}Bh$	163	61 s
Хасий	$^{277m}_{108}Hs$	169	12 m
Майтнерий	$^{278}_{109}Mt$	169	7,6 s
Дармщадтий	$^{281}_{110}Ds$	171	11 s
Рьонгений	$^{281}_{111}Rg$	170	26 s
Коперниций	$^{285}_{112}Cn$	173	29 s
Ununtrium	$^{286}_{113}Uut$	173	19,6 s
Фльоровий	$^{289}_{114}Fl$	175	2,6 s
Ununpentium	$^{289}_{115}Uup$	174	0,220 s
Ливърморий	$^{293}_{116}Lv$	177	0,061 s
Ununseptium	$^{294}_{117}Uus$	177	0,078 s
Ununoctium	$^{294}_{118}Uuo$	176	0,0009 s

d = дни; h = часове; m = минути; s = секунди

Съществуват купища книги, разказващи и обясняващи къде е краят на Периодичната система на елементите, като всички те се основават на някакви пресмятания, осъществени с помощта на вездесъщите компютри и съответните модели. Все пак на този етап от познанията ни физически не е известен краят на Периодичната система на елементите, т.е. не би могло да бъде даден напълно обоснован отговор на такъв въпрос: *къде е краят на Периодичната таблица на елементите?* Теоретически това би трябвало да се случи при елемента с пореден номер 173 (Рууккё, 2010). Разбира се, Периодичната таблица на елементите би могла да завърши значително по-рано, т.е. поредният номер на „последния“ химичен елемент в таблицата на Менделеев би могъл да има значително по-малък пореден номер.

Може би, когато се говори за края на Периодичната таблица на химичните елементи, следва да се отбележи, че пресмятайки скоростта на електрона по първата електронна орбитала по „модела на Бор“, този модел среща трудности, когато поредният номер на елемента е по-голям от 137 (Marin, 2011). Когато поредният номер на елемента е по-голям от 137, трудности среща и релативистичното уравнение на Пол Дирак (*Paul Adrien Maurice Dirac* – 1902–1984). И тъй като

носителят на Нобелова награда по физика за 1965 г. американецът Ричард Фейнман (*Richard Feynman* – 1918–1988) посочи този ефект, то елементът, който се очаква при пореден номер 137 (untriseptium) в Периодичната система на химичните елементи, би следвало да бъде наречен *фейнманий* (*feynptanium*) със знак Fy.

В момента химичните елементи в Периодичната таблица са подредени в седем периода, който завършва с елемента с пореден атомен номер 118. Този елемент би трябвало да бъде химичен аналог на благородните газове – хелий-радон. Това ще рече, че ако бъдат открити елементи с по-висок атомен номер, т.е. с по-голям брой протони в ядрото, те би трябвало да бъдат поставени в следващия, осми период на Периодичната таблица. Счита се, че осми период трябва да се характеризира с по-голям брой елементи и техният брой следва да бъде 18. Този осми период на периодичната таблица беше предложен от Глен Сиборг още през 1969 г., а 137-ят елемент, както беше отбелязано по-горе, вече дори има своето име. До днес обаче все още не е открит елемент, който комисията към IUPAC да наименова, но чийто пореден номер да го подрежда в осмия период на Периодичната таблица на елементите. Според някои теоретични пресмятания елементът, принадлежащ към осмия период на Периодичната таблица на елементите, би трябвало да притежава изключително кратък период на полуразпадане. Въпреки че елементът с пореден номер 126 е хипотетичен и според теоретичните пресмятания би трябвало да бъде извън „острова на стабилност“, той би трябвало да е устойчив по отношение на ядреното делене, но не и по отношение на алфа-разпадането. Разбира се, не е известно дали физически е възможно да бъдат синтезирани елементи отгъток „острова на стабилност“ и дали осмият период ще бъде запълнен изобщо. Същевременно не е напълно ясно дали ще бъде достигнат дори деветият период на елементите в Периодичната таблица. Все пак трябва да се каже, че още през април 2011 г. бяха предприети опити да бъдат синтезирани елементите с поредни номера 119, 120, 122, 124 и 126, или съответно ununennium, unbinilium, unbibium, unbiquadium и unbihexium, т.е. елементи, някои от които принадлежат на осмия период на Периодичната таблица на химичните елементи.

Според Глед Сиборг елементът с пореден номер 130 би трябвало да е последният в Периодичната система на Менделеев. Ако все пак съществуват по-тежки елементи, много малко вероятно е да бъде достигнат елемент, чийто пореден номер да бъде 173!

ЛИТЕРАТУРА

Киркова, Е. (2001). *Обща химия*. София: Унив. изд. „Св. Климент Охридски“.

Киркова, Е. (2007). *Химия на елементите и техните съединения*. София: Унив. изд. „Св. Климент Охридски“.

- Петржак, К.А. & Флеров, Г.Н. (1940). Спонтанное деление урана. *Докл. АН СССР*, 28, 500–501.
- Koppenol, W.H. (2002). Naming of new elements (IUPAC Recommendations 2002). *Pure & Appl. Chem.*, 74, 787–791.
- Kuleff, I. (2005). On the names of the newest elements of the periodic system. *Chemistry*, 14, 196–203 [In Bulgarian].
- Loss, R.D. & Corish, J. (2012). Names and symbols of the elements with atomic numbers 114 and 116 (IUPAC Recommendations 2012). *Pure & Appl. Chem.*, 84, 1669–1672.
- Loveland, W., Morrissey, D.J. & Seaborg, G.T. (2006). *Modern Nuclear Chemistry*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Marin, E. (2011). 137: a Bohr theory prediction of the upper limit for the number of chemical elements. *Chemistry*, 20, 520–524.
- 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., Stoyer, M.A., Loughheed, R.W., Laue, C.A., Karelin, Y.A. & Tatarinov, A.N. (2000). Observation of the decay of $^{292}116$. *Phys. Rev. C*, 63, 011301.
- 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. (2004). 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}Pu , and $^{248}\text{Cm}+^{48}\text{Ca}$. *Phys. Rev. C*, 70, 064609.
- 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., Ryabinin, 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, 162501.
- Pyykkö, P. (2010). 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.
- Van Wüllen, C. & Langermann, N. (2007). Gradients for two-component quasirelativistic methods: application to dihalogenides of element 116. *J. Chem. Phys.*, 126, 114106.
- Zagrebaev, V. (2004). Fusion-fission dynamics of super-heavy element formation and decay. *Nuclear Physics A*, 734, 164–167.

AGAIN ABOUT THE END OF THE PERIODIC TABLE OF CHEMICAL ELEMENTS

Abstract. It is a narrative about nuclear syntheses of flerovium and livermorium – presently, the heaviest elements of the Periodic table of the elements. The experiments for determination of chemical properties of flerovium and livermorium are described. On the basis of the available information, the problem of the upper limit of the Periodic table of chemical elements is also presented.

Prof. Ivelin Kuleff, DSc

✉ Department of Analytical Chemistry
University of Sofia
1 James Bourchier Blvd.
1164 Sofia, BULGARIA
E-mail: Kuleff@chem.uni-sofia.bg

ПРИЛОЖЕНИЕ

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 <u>H</u> 1.008																	2 <u>He</u> 4.0026
2	3 <u>Li</u> 6.94	4 <u>Be</u> 9.0122											5 <u>B</u> 10.81	6 <u>C</u> 12.011	7 <u>N</u> 14.007	8 <u>O</u> 15.999	9 <u>F</u> 18.998	10 <u>Ne</u> 20.180
3	11 <u>Na</u> 22.990	12 <u>Mg</u> 24.305											13 <u>Al</u> 26.982	14 <u>Si</u> 28.085	15 <u>P</u> 30.974	16 <u>S</u> 32.06	17 <u>Cl</u> 35.45	18 <u>Ar</u> 39.948
4	19 <u>K</u> 39.098	20 <u>Ca</u> 40.078	21 <u>Sc</u> 44.956	22 <u>Ti</u> 47.867	23 <u>V</u> 50.942	24 <u>Cr</u> 51.996	25 <u>Mn</u> 54.938	26 <u>Fe</u> 55.845	27 <u>Co</u> 58.933	28 <u>Ni</u> 58.693	29 <u>Cu</u> 63.546	30 <u>Zn</u> 65.38	31 <u>Ga</u> 69.723	32 <u>Ge</u> 72.63	33 <u>As</u> 74.922	34 <u>Se</u> 78.96	35 <u>Br</u> 79.904	36 <u>Kr</u> 83.798
5	37 <u>Rb</u> 85.468	38 <u>Sr</u> 87.62	39 <u>Y</u> 88.906	40 <u>Zr</u> 91.224	41 <u>Nb</u> 92.906	42 <u>Mo</u> 95.96	43 <u>Tc</u> [97.91]	44 <u>Ru</u> 101.07	45 <u>Rh</u> 102.91	46 <u>Pd</u> 106.42	47 <u>Ag</u> 107.87	48 <u>Cd</u> 112.41	49 <u>In</u> 114.82	50 <u>Sn</u> 118.71	51 <u>Sb</u> 121.76	52 <u>Te</u> 127.60	53 <u>I</u> 126.90	54 <u>Xe</u> 131.29
6	55 <u>Cs</u> 132.91	56 <u>Ba</u> 137.33	* 71 <u>Lu</u> 174.97	72 <u>Hf</u> 178.49	73 <u>Ta</u> 180.95	74 <u>W</u> 183.84	75 <u>Re</u> 186.21	76 <u>Os</u> 190.23	77 <u>Ir</u> 192.22	78 <u>Pt</u> 195.08	79 <u>Au</u> 196.97	80 <u>Hg</u> 200.59	81 <u>Tl</u> 204.38	82 <u>Pb</u> 207.2	83 <u>Bi</u> 208.98	84 <u>Po</u> [208.9]	85 <u>At</u> [209.9]	86 <u>Rn</u> [222.2]
7	87 <u>Fr</u> [223.02]	88 <u>Ra</u> [226.03]	* 103 <u>Lr</u> [262.11]	104 <u>Rf</u> [261.2]	105 <u>Db</u> [268.13]	106 <u>Sg</u> [271.3]	107 <u>Bh</u> [274.0]	108 <u>Hs</u> [277.15]	109 <u>Mt</u> [276.5]	110 <u>Ds</u> [281.6]	111 <u>Rg</u> [280.16]	112 <u>Cn</u> [285.17]	113 <u>Uut</u> [284.8]	114 <u>Fl</u> [289.19]	115 <u>Uup</u> [288.9]	116 <u>Lv</u> [293.3]	117 <u>Uus</u> [294.4]	118 <u>Uuo</u> [294.4]
*Lanthanoids *			57 <u>La</u> 138.91	58 <u>Ce</u> 140.12	59 <u>Pr</u> 140.91	60 <u>Nd</u> 144.24	61 <u>Pm</u> [144.91]	62 <u>Sm</u> 150.36	63 <u>Eu</u> 151.96	64 <u>Gd</u> 157.25	65 <u>Tb</u> 158.93	66 <u>Dy</u> 162.50	67 <u>Ho</u> 164.93	68 <u>Er</u> 167.26	69 <u>Tm</u> 168.93	70 <u>Yb</u> 173.05		
**Actinoids *			89 <u>Ac</u> [227.03]	90 <u>Th</u> 232.04	91 <u>Pa</u> 231.04	92 <u>U</u> 238.03	93 <u>Np</u> [237.05]	94 <u>Pu</u> [244.06]	95 <u>Am</u> [243.06]	96 <u>Cm</u> [247.07]	97 <u>Bk</u> [247.07]	98 <u>Cf</u> [251.08]	99 <u>Es</u> [252.08]	100 <u>Fm</u> [257.0]	101 <u>Md</u> [258.10]	102 <u>No</u> [259.10]		