

U daljnjem razvoju akceleratorne tehnike napori da se prođe do još većih energija bili su koncentrirani uglavnom u dva smjera. S jedne strane bili su pokušaji, naročito u SSSR, da se postigne stabilizirani toroidalni snop elektrona, koji bi uvođenjem protona dao plazmu i koncentrirao se na tako mali presjek da bi nastala izvanredno jaka magnetska polja, reda veličine stotinu tesla (milijun gausa). Ubrzavanje protona u takvim poljima omogućilo bi da se npr. dosegne energija 100 GeV uz polumjer akceleratora od svega 3 metra. S druge strane uzela se, naročito u USA, u ozbiljno razmatranje mogućnost povećanja energija na taj način da se snopovi dvaju akceleratora usmjere jedan prema drugome. Premda je ta ideja bila već dosta davno iznesena (Wiederöe, 1943), nije se pomišljalo na njeno ostvarenje, jer su jakosti snopa raspoloživih akceleratora bile premale da bi se dobila neka razborita vjerojatnost sudara (ili udarni presjek, izraženo jezikom nuklearne fizike). Tek pošto je predloženo da se grade FFAG-sinhrotroni, koji bi imali daleko jači snop, počelo se opet pomišljati na to. Projekti idu u tom smjeru da se upotrebe dva akumulativna magneta, u kojima u suprotnim smjerovima kruže, bez porasta ili gubitka energija, snopovi izbačeni u sukcesivnim pulsovima iz FFAG-sinhrotrona. Kad se prikupi dovoljno ubrzanih čestica, snopovi se u jednom času usmjere jedan prema drugome.

Da se ocijeni prednost nasuprotnih snopova, treba imati na umu da efektivna energija čestica, dakle ona koja je raspoloživa za nuklearne reakcije, iznosi samo jedan dio nominalne akceleratorne energije. Razlika je u tome što je efektivna energija ona koja je raspoloživa u težištu masa udarne i udarene čestice, dok se nominalna energija odnosi na česticu koja udara na nepomičan cilj. Pri preračunavanju iz nepomičnoga »laboratorijskog« sistema u sistem težišta masa treba dakako primjenjivati relativističke teoreme. Primjera radi neka bude navedeno da je od nominalne energije 25 GeV CERNova AG-sinhrotrona samo dio od 5,2 GeV efektivan za nuklearne reakcije, kako pokazuje relacija

$$E_{ef} = 2 E_0 (\sqrt{1 + (E_{nom}/2E_0)^2} - 1)$$

Međutim, sudar dvaju protona izbačenih jedan nasuprot drugome iz sinhrotrona 25 GeV daje efektivnu energiju od 50 GeV. Za postizavanje iste efektivne energije uz nepomičan cilj bio bi potreban ekvivalentni akcelerator nominalne energije oko 1300 GeV, što se vidi iz odnosa $E_{ekv} = 2 E_{nom} (2 + E_{nom}/E_0)$, koji vrijedi za sudar dviju čestica energije mirovanja E_0 izbačenih iz akceleratora nominalne energije E_{nom} . Nasuprotni sudar omogućio bi dakle prodor u novo, još više područje energije. Ipak, ostaje još nekoliko redova veličine do gornje energetske granice kozmičkih zraka. No ni ljudski napori ne će stati, i dok god bude neriješenih problema u poznavanju svijeta koji nas okružuje, tražit će se i pronalaziti metode za njihovo rješavanje.

LIT.: S. Winter i dr., Les accélérateurs de particules, Paris 1950 — M. S. Livingston, High-energy accelerators, New York 1954. — R. Kollath, Teilchenbeschleuniger, Braunschweig 1955. — CERN, Comptes rendus du symposium, Genève 1956. — G. A. Behman, Particle accelerators (Bibliography), UCRL 1956. — Handbuch der Physik, XLIV. Berlin 1959. M. Li.

AKTINIJUM I AKTINIDI. Pod imenom *aktinijumova serija elemenata* obuhvaćaju se hemijski element *aktinijum* (at. br. 89) i 14 elemenata nazvanih *aktinidima* ili *aktinoidima* (tj. »aktinijumu sličnim«), s atomskim brojevima 90 do 103.

Svi izotopi aktinijumove serije pokazuju pojavu radioaktivnosti. Izuzev prva četiri člana, koji su prirodni radioaktivni elementi, ostali su veštački spravljeni (93 do 103).

Danas su poznati svi elementi ove serije: aktinijum, torijum, protaktinijum, uranijum, neptunijum, plutonijum, americijum, kirijum, berklidijum, kalifornijum, ajnštajnijum, fermijum, mendelevijum, nobelijum i lorensijum.

Metodi dobivanja elemenata aktinijumove serije. 1. Izotopi najdužeg veka aktinijuma i cisuranskih aktinida (Th, Pa i U) nalaze se u prirodi. Oni su članovi radioaktivnih nizova, uranijumskog, torijumskog i aktinijumskog. Izvori su minerali uranijuma i torijuma, u kojima se oni ponekad nalaze u ekstremno malim količinama. Takve izotope danas je često jednostavnije spravljati veštačkim putem (npr. ²²⁷Ac, ²³¹Pa i dr.). — 2. Najveći deo transuranskih, a i mnogi cisuranski izotopi aktinida — prirodni ili veštački — dobivaju se apsorpcijom neutrona od strane izotopa atomskog broja manjeg za jedinicu, pod uslovom da tako nastali izotop pokazuje betaradioaktivnost kraćeg veka (npr. ²³⁹Np, ²³⁹Pu, ²⁴¹Am i dr., vidi tablicu 1). Uz izvor neu-

Tabl. 1 IZOTOPI AKTINIJUMA I AKTINIDA

Element	Maseni broj	Tip raspada	Poluvremena raspada	Element	Maseni broj	Tip raspada	Poluvremena raspada
Ac	222	α	10 s	Am	237	K, α	1,3 h
	223	α	2,2 m		238	K	2 h
	224	K, α	2,9 h		239	K, α	12 h
	225	α	10,0 d		240	K	51 h
	226	β	1,2 d		241	α	458 a
	227	β (α)	22 a		242	β, α	100 a
	228	β	6,13 h		243	α	7950 a
	229	β	1,1 h		244	β	26 m
	224	α	1 s		245	β	2,0 h
	225	K, α	7,8 m		246	β	25 m
Th	226	α	30,9 m	Cm	238	K, α	2,5 h
	227	α	19,9 d		239	K	3 h
	228	α	1,9 a		240	α*	27 d
	229	α	7·10 ⁸ a		241	K, α	35 d
	230	α*	8·10 ⁴ a		242	α*	163 a
	231	β	24,6 h		243	α	35 a
	232	α*	1,4·10 ¹⁰ h		244	α*	18,4 a
	233	β, α	23 m		245	α	8·10 ³ a
	234	β	24,1 d		246	α*	6,6·10 ³ a
	Pa	226	α		1,7 m	Bk	247
227		α, K	38 m	248	α*		4·10 ³ a
228		K, α	22 s	249	β		64 m
229		K, α	1,5 d	250	f		2·10 ⁴ a
230		β, K	17 d	243	K, α		4,5 h
231		α	3,2·10 ⁴ a	244	K, α		4,4 h
232		β	1,32 d	245	K, α		5 d
233		β	27,4 d	246	K		1,8 d
234		β	1,14 m	247	α, K		7·10 ³ a
235		β	23,7 m	248	β		20 h
U	236	β	10,5 m	Cf	249	β, α*	314 d
	228	α, K	9,3 m		250	β	3,1 h
	229	K, α	58 m		244	α	25 m
	230	α	20,8 d		245	K, α	44 m
	231	K, (α)	4,3 d		246	α*	36 h
	232	α*	70 a		247	K	2,7 h
	233	α	1,6·10 ⁵ a		248	α*	350 d
	234	α*	2,5·10 ⁴ a		249	α*	360 a
	235	α*	7,1·10 ⁸ a		250	α*	11 a
	236	α	2,4·10 ⁷ a		251	α	800 a
Np	237	β	6,75 d	Es	252	α*	2,6 a
	238	α*	4,9·10 ⁸ a		253	β	17 d
	239	β	23,5 m		254	f, α	17 d
	240	β	14,1 h		246	K	~1 m
	231	α	53 m		247	K, α	7,3 m
	232	K	13 m		248	K, α	25 m
	233	K, α	35 m		249	K, α	2 h
	234	K	4,4 d		250	K	8 h
	235	K, α	410 d		251	K	1,5 d
	236	K, β	22 h		252	α	142 d
Pu	237	α	2,2·10 ⁴ a	Fm	253	α*	19,3 d
	238	β	2,1 d		254	β, α	480 d
	239	β	2,3 d		255	β	24 d
	240	β	7 m		256	β	kratko
	241	β	60 m		249	α	kratko
	232	K, α	36 m		250	α	30 m
	233	K, α	20 m		251	K, α	7 h
	234	K, α	9 h		252	α*	30 n
	235	K, α	26 m		253	K, α	4,5 d
	236	α*	2,8 a		254	α*	3,2 h
Md	237	K	45 d	Lw	255	α*	21,5 h
	238	α*	87 a		256	f	3,5 h
	239	α*	2,43·10 ⁴ a		255	K	~30 m
	240	α*	6,6·10 ⁴ a		256	K	1 h
	241	β	13 a		254	α, f	3 s
	242	α*	3,7·10 ⁴ a		257	α	8 s
	243	β	5 h				
	244	β, α*	7·10 ⁷ a				

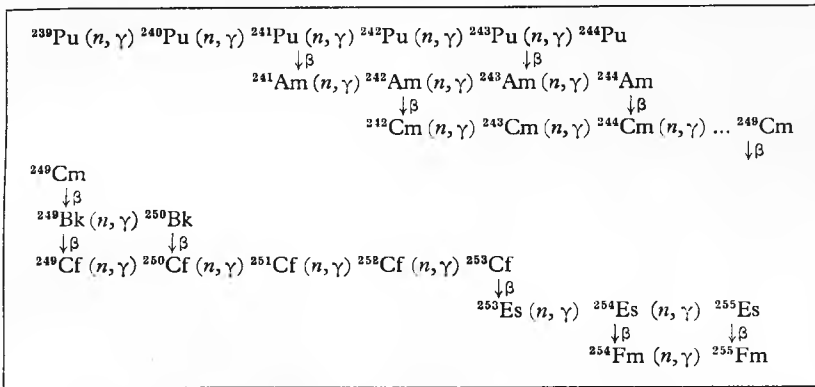
LEGENDA: α = emisija α-čestice; β = emisija elektrona; K = zahvat orbitalnog elektrona; * = zapažena spontana fisija; f = spontana fisija dominira; s, m, h, d, a = sekundi, minuti, časovi, dani, godine.

trona visokog fluksa, kao što je nuklearni reaktor, praktikuje se sukcesivna apsorpcija neutrona, za što je jedan primer ilustrovan tablicom 2. Slična pojava nastaje i za vreme termonuklearnih

eksplozija, samo daleko brže; uranijum ili plutonijum inicijalnog paljenja evoluiru u više elemente. Na taj su način otkriveni ajnštajnijum i fermijum. — 3. Bombardovanjem uranijuma, pluto-

uranijum, blagodareći svom šestovalentnom stanju u uranil-solima, lako se odvaja od svojih analoga. Industrijski postupak ide preko Na-uranata, ekstrakcije organskim rastvaračima (dietiletar, tributilfosfat, metilizobutilketon i dr.) i njegovog peroksida. Postoje takode postupci za odvajanje uranijuma jonoizmenjivačkim smolama, ako se radi o siromašnim rudama ili vodi koja ga sadržava.

Tabl. 2 EVOLUCIJA AKTINIDA U SREDINI VISOKOG FLUKSA NEUTRONA



Neptunijum i plutonijum su veoma slični uranijumu. Da bi se plutonijum odvojio od uranijuma, smeša uranil-soli (UO_2^{2+}) i plutonil-soli (PuO_2^{2+}) redukuje se tako da samo Pu(VI) pređe u Pu(IV), dok uranijum ostaje netaknut. Potom se plutonijum taloži kao PuF_4 . Odvajanje neptunijuma od uranijuma vrši se na sličan način. Razdvajanje Np i Pu takode se zasniva na različitim stabilnostima njihovih oksidacionih stanja (VI) i (IV).

Americijum, kirijum, berkljum i kalifornijum izdvojeni su od viška Pu takode na osnovu veće stabilnosti njihovog stanja (IV).

Metodika primenljiva za razdvajanje svih transuranskih aktinida je jonska izmena na organskim smolama. Ona je čak i jedina poznata pri radu sa

nijuma i drugih nižih obilnijih aktinida pozitivnim jonima elemenata ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$ ili ${}^4\text{He}$ nastaju nuklearne reakcije, (p, n), (d, n), (α, n), ($\alpha, 2n$) i druge, što dovodi do sinteze elemenata višeg atomskog broja. — 4. Aktinidi najvišeg atomskog broja dobivaju se često bombardovanjem teškim pozitivnim jonima (${}^{12}\text{C}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{15}\text{N}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{22}\text{Ne}$ itd.). Tako su dobiveni neki izotopi ajnštajnijuma, fermijuma, nobelijuma i lorensijuma. U tablicama 3 i 4 dati su kratko istorijski podaci, odnosno glavni metodi dobivanja elemenata aktinijumove serije.

Hemijsko razdvajanje elemenata aktinijumove serije. Aktinijum se ekstrahuje iz uranijumskih minerala, gde ga ima otprilike 2·10⁻⁸% od ukupne količine uranijuma. Pošto se u ovim mineralima gotovo uvek nalaze i primese retkih zemalja, aktinijum se zbog hemijske sličnosti taloži zajedno sa njima. Aktinijum, sa viškom La, frakciono se kristališe u obliku dvojne soli sa amonijum-nitratom. Manje je rastvorljiva aktinijumova so, tako da La zaostaje u rastvoru. Ipak, i u najboljim preparatima, La je u velikom višku. Potpuno razdvajanje je izvedeno hromatografski.

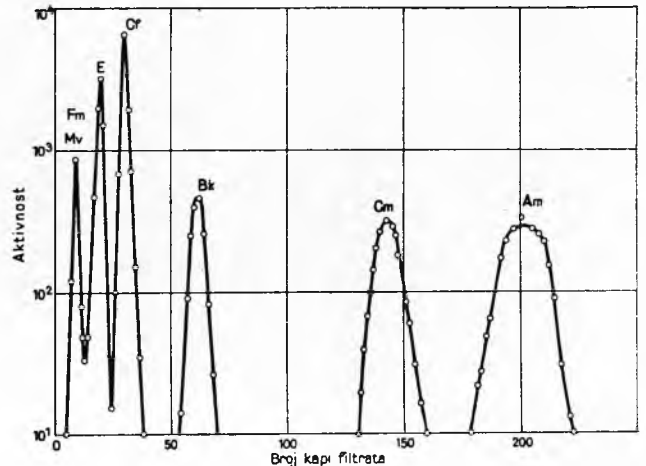
Ako je Ac dobiven sintetički (${}^{226}\text{Ra} + n \rightarrow {}^{227}\text{Ra} \xrightarrow{\beta} {}^{227}\text{Ac}$), odvajanje od Ra je znatno jednostavnije.

Torijum po svojim osobinama naginje IV grupi elemenata periodnog sistema i u svojim reakcijama ide zajedno sa Ce, Zr i Hf, ali ima i znatnih sličnosti sa lantanidima. Od prvih se odvaja taloženjem u obliku ThF_4 i $\text{Th}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ a od drugih frakcionom kristalizacijom jodata. Od uranijuma se torijum odvaja ekstrakcijom organskim rastvaračima.

Protaktinijum se ponaša slično Ta, Zr i Th. U rudama uranijuma može se ga naći do 200 mg na tonu minerala. Izdvaja se uz Ta ili Zr kao nosače. Od Th se odvaja time što se ovaj taloži kao ThF_4 .

God. 1961 objavljeno je da su britanski nuklearni hemičari izolovali iz etarskog ekstrakta uranijumske rude 125 g protaktinijuma (sto puta više no što je ikad dosad izolovano) postupkom koji je obuhvaćao dve ekstrakcije (tributilfosfatom i diizobutilketonom), tri taloženja aluminijum-hloridom i rastvaranja u hlorovodoničnoj i fluorovodoničnoj kiselini, i uklanjanje onečišćenja jonoizmenjivačem.

najvišim aktinidima, ajnštajnijumom, fermijumom, mendelevijumom i nobelijumom, čiji se izotopi često dobivaju u količinama koje ne prelaze stotine, pa i desetine atoma. Primer takva razdvajanja dat je slikom 1, gdje je predstavljen tok eluiranja smole, na kojoj su bili adsorbovani aktinidi, rastvorom oksizobuterne kiseline.



Sl. 1. Spiranje trovalentnih aktinida sa jonoizmenjivačke smole rastvorom amonijum-α-hidroksibutirata (Choppin i dr., 1956)

Tabl. 3 AKTINIJUMOVA SERIJA KEMIJSKIH ELEMENATA

At. br.	Latinsko ime	Simbol	Poreklo naziva	Godina otkrića	Autori
89	Actinium	Ac	Grč. ἄκτις aktis = zrak	1899	Debierne
90	Thorium	Th	Skandinavski bog Thor	1828	Berzelius
91	Protactinium	Pa	Grč. πρῶτος protos = pre	1913	Fajans i Göring
92	Uranium	U	Po planeti Uran	1789	Klaproth
93	Neptunium	Np	Po planeti Neptun	1940	McMillan i Abelson
94	Plutonium	Pu	Po planeti Pluton	1940	Seaborg i saradnici
95	Americium	Am	Analogija sa europijumom	1944	„ „
96	Curium	Cm	U čast Marie Curie	1949	„ „
97	Berkelium	Bk	Po gradu Berkeleyu	1949	„ „
98	Californium	Cf	Po Kaliforniji	1950	„ „
99	Einsteinium	Es	U čast A. Einsteina	1953	Grupa u Berkeleyu
100	Fermium	Fm	U čast E. Fermija	1953	„ „
101	Mendelevium	Md	U čast D. Mendeljejeva	1955	Seaborg i saradnici
102	Nobelium	No	U čast A. Nobela	1957	Grupa švedskih, američkih britanskih istraživača
103	Lawrencium	Lw	U čast E. Lawrencea	1961	Ghiorso i saradnici

Zajedničke hemijske i fizičke osobine serije. Prvo što u seriji aktinida pada u oči jest oksidaciono stanje (III) koje pokazuju svi članovi. Ipak, njegova relativna stabilnost nije jednaka za sve članove serije:

ona raste sa porastom atomskog broja elementa. Tako se npr. uranijumov (III)-jon oksiduje već vazduhom, dok je ovo najstabilnije stanje američijuma i elemenata iza njega. Ovo je čak jedino poznato stanje kirijuma, kalifornijuma i težih elemenata. Trihalogenidi, opšte formule MX_3 , svi su među sobom izomorfni.

Elementi U, Np, Pu, Am i Bk grade jedinjenja valentnog stanja (IV), koja su za Np i Pu i najstabilnija. Tetrahalogenidi, MX_4 , izomorfni su među sobom, a i sa tetrahalogenidima torijuma. Oksidaciono stanje (V) zapaženo je u rastvorima U, Np i Pu. Ova tri elementa, a i Am, postoje i u stanju (VI), koje je za U najstabilnije. Jedinjenja analogna uranil-jedinjenjima, koja imaju MO_2^{2+} -jon, imaju i jednaku kristalnu strukturu.

Stabilnosti valentnih stanja aktinida pregledno su predstavljene u tablici 5. Četiri krstića označavaju veoma stabilno, a jedan krstić relativno nestabilno stanje elementa.

Paralela aktinijumove serije s lantanovom. Lantanova serija elemenata obuhvata element lantan (at. br. 57) i 14 elemenata, zvanih lantanidi ili lantanoidi, s atomskim brojevima 58 do 71. Lantan je homolog aktinijuma i stoga mu je po hemijskim osobinama sličan, ali i aktinidi kao grupa pokazuju brojne analogije s grupom lantanida (zbog čega im je i dato analogno ime). Te su analogije uglavnom ove: 1. Lantanidima je svojstveno oksidaciono stanje (III), što se uglavnom može reći i za aktinide. — 2. Postoje izvesne sličnosti u atomskim spektrima i magnetskim osobinama obe serije. — 3. Među optičkim sličnostima naročito je karakteristično potpuno odsustvo apsorpcije vidljive svetlosti koje po-

kazuju kirijum i njegov homolog gadolinijum. — 4. Aktinidi u oksidacionom stanju (III) i (IV) pokazuju jasnu tendenciju k smanjivanju jonskog prečnika sa porastom atomskog broja. Ta

Tabl. 4 GLAVNI NAČINI DOBIVANJA ELEMENATA AKTINIJUMOVE SERIJE

Elem.	Izvor	Pristupačne količine
Ac	Iz prirodnih izvora (rude U); $^{226}\text{Ra} (\alpha, \gamma) \xrightarrow{\beta} ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{227}\text{Ac}$ u reaktoru	miligrami
Th	Iz prirodnih izvora (rude Th i U, monazit)	praktično neograničene grami
Pa	Iz prirodnih izvora (rude U i Th); u reaktoru: $^{230}\text{Th} (\alpha, \gamma) \xrightarrow{\beta} ^{231}\text{Th} \rightarrow ^{231}\text{Pa}$	praktično neograničene grami (^{231}Np)
U	Iz prirodnih izvora (rude U)	grami (^{239}Pu)
Np	$^{238}\text{U} (\alpha, \gamma) \xrightarrow{\beta} ^{239}\text{Np}$; $^{238}\text{U} (n, 2n) \xrightarrow{\beta} ^{237}\text{Np}$	grami (^{241}Am)
Pu	$^{239}\text{Np} \xrightarrow{\beta} ^{239}\text{Pu}$; u malim količinama u rudama U	miligrami (^{242}Cm)
Am	$^{239}\text{Pu} (\alpha, \gamma) \xrightarrow{\beta} ^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am}$	mikrogrami
Cm	$^{241}\text{Am} (\alpha, n) \xrightarrow{\beta} ^{242}\text{Cm}$; $^{241}\text{Am} (\alpha, \gamma) \xrightarrow{\beta} ^{242}\text{Am} \rightarrow ^{242}\text{Cm}$	mikrogrami
Bk	$^{241}\text{Am} (\alpha, 2n) \xrightarrow{\beta} ^{242}\text{Bk}$; sukcesivna apsorpcija neutrona	mikrogrami
Cf	$^{242}\text{Cm} (\alpha, 2n) \xrightarrow{\beta} ^{244}\text{Cf}$; sukcesivna apsorpcija neutrona	mikrogrami
Es	$^{248}\text{U} (^{14}\text{N}, 6n) \xrightarrow{\beta} ^{248}\text{Es}$; pri termonuklearnim eksplozijama i sukcesivnom apsorpcijom neutrona	milimikrogrami
Fm	$^{248}\text{U} (^{16}\text{O}, 4n) \xrightarrow{\beta} ^{250}\text{Fm}$; pri termonuklearnim eksplozijama i sukcesivnom apsorpcijom neutrona	< 10^8 atoma
Md	$^{248}\text{Es} (\alpha, n) \xrightarrow{\beta} ^{248}\text{Md}$	desetine atoma
No	$^{248}\text{Cm} (^{12}\text{C}, 4n) \xrightarrow{\beta} ^{254}\text{No}$	desetine atoma
Lw	$^{260}\text{Cf} (^{11}\text{B}, 4n) \xrightarrow{\beta} ^{267}\text{Lw}$	

javna je poznata odavno pod imenom »lantanidske kontrakcije« i karakteristična je za tu seriju. — 5. Trihalogenidi aktinida, MX_3 , imaju istu kristalnu strukturu kao trihalogenidi lantanida. — 6. Američijum, kao i lantanid europijum, ima relativno malu gustinu, što nije slučaj sa W, Rh, Os ili Ir. — 7. Pri razdvajanju na jonoizmenjivačkim smolama, aktinidi se ponašaju veoma slično lantanidima. — 8. Metali počevši od Th pa do Cm visoko su elektropozitivni, za razliku od elemenata od Hf do Pt.

I pored toga, ima osobina koje ne govore u prilog striktno analogije lantanida i aktinida: 1. Iako je oksidaciono stanje (III) poznato za sve članove serije (v. tabl. 5), o postojanju Th(III) i Pa(III) ima malo podataka (lantanidi su svi trovalentni). — 2. Elementi Th, Pa i U u mnogim osobinama liče na Hf, Ta i W, koji su njihovi alternativni homolozi u grupama IV, V i VI periodnog sistema. Prema ovim, i nekim drugim osobinama, kao da se u ovoj seriji javlja poremećaj u popunjavanju elektronskih nivoa atoma: nivo 6d počinje popunjavanje sa Ac i ono ide do U; posle toga se popunjavanje nastavlja u nivou 5f, koji je dublji pa se njegov uticaj manje očituje u postupnoj promeni hemijskih osobina.

Ove ukratko nabrojane sličnosti i razlike aktinida i lantanida dovele su do većeg broja raznih pretpostavki i teorija o mestu ovih elemenata u periodnom sistemu. Pored teorije striktno analogije aktinida sa lantanidima, koja svakako ima najveći broj pristalica — među kojima je i tvorac gotovo svih transurana, Glenn Seaborg — postoje mišljenja da bi trebalo izdvojiti seriju »torida«, »protaktinida« ili »uranida«. Postoje takođe pretpostavke o seriji Ac, Am, Cm ... Lw, koju bi trebalo izdvojiti, dok bi elementi Th do Pu ostali u periodnoj tablici. Teorija »uranida« ima mnogo realnih argumenata i zahteva da u periodnom sistemu ostanu Th, Pa i U, dok bi Ac sa transuranima sačinjavao posebnu grupu (Paneth, Haissinsky i dr.).

Odlučujuća provera svih ovih teorija svakako će biti ispitivanje osobina lorenzijuma i sinteza elementa 104. Poslednji bi trebalo da bude element definitivno različit od aktinida, tj. treba da bude četvorovalentan i da sliči na Zr i Hf.

LIT.: G. T. Seaborg i dr., The transuranium elements, vol. I i II, New York 1949. — Isti, The actinide elements, New York 1954. — C. E. Бреслер, Радиоактивные элементы, III, изд., Москва, 1957. — D. Strominger i dr. Rev. Mod. Phys., 1958, 30, 585—904. S. Ri.

AKUMULATOR, električni, galvanski članak kojemu je elektrokemijsko djelovanje reverzibilno, tako da se propuštajući kroz njega istosmjernu struju u smjeru obrnutom smjeru galvanske struje može nakon »izbijanja«, »pražnjenja«, vratiti u izlazno stanje, »napuniti«, »nabiti«, i tako učiniti sposobnim za davanje galvanske

Tabl. 5 VALENTNA STANJA AKTINIJUMOVE SERIJE

Element	Atomski broj	Oksidaciono stanje			
		III	IV	V	VI
Aktinijum	89	++++			
Torijum	90	+	++++		
Protaktinijum	91	+	+	++++	
Uranijum	92	++	+++	+	++++
Neptunijum	93	++	++++	+++	+++
Plutonijum	94	+++	++++	++	+++
Američijum	95	++++	+	+	+
Kirijum	96	++++			
Berklijum	97	++++	++		
Kalifornijum	98	++++			
Ajnštajnijum	99	++++			
Fermijum	100	++++			
Mendelevijum	101	++++			
Nobelijum	102	++++			
Lorensijum	103				