

Jóllehet az ilyen dodekaéder-szemcsék kristályoknak tűnnek, azonban a dodekaéder-szemcsék nem épülhetnek fel egyforma elemi cellákba, ezért a dodekaéder-szemcse kvázikristály.

A kvázikristályok bizonyos alapvető tulajdonságainak leírására matematikusok, szilárdtest fizikusok az évek során különböző modelleket állítottak fel (Penrose modell, mely két, vagy több elemi cellából építi fel a kvázikristályt; az üvegmodell, mely helyi kölcsönhatásokkal magyarázza az atomcsoportok némiképpen véletlenszerű összekapcsolódását. E modell szerint az atomcsoportok térbeli állása egyforma, ám a véletlenszerű növekedés miatt a szerkezet számos hibát is tartalmaz. A két modell hiányosságait próbálja kiküszöbölni a harmadik, a véletlenszerű csempék modellje). Ezeknek az egyeztetésével próbálják megalkotni a kvázikristályok szerkezetének elméletét, mely alapul szolgálhat új, sajátos elektromos, mágneses, mechanikai tulajdonságú kvázikristályos anyagok előállítására és széleskörű alkalmazására a technika különböző területén. „Képlékenyséjük és jó korrózióállóságuk előnyös a védőfelületek kialakításában, csekély reakciókészségük sebészeti műszerek és protézisek gyártására teszi őket alkalmassá. A Fe-Mo-B összetételű üvegfémek alkalmasak a vasbeton szilárdságának fokozására, ugyanakkor ellenállnak a radioaktív sugárzásnak, ezért az atomreaktorok szerkezeti elemeiként kívánják alkalmazni a jövőben. Mágneses tulajdonságaikkal nagyteljesítményű kapcsolók előállítására alkalmasak. Ilyen mágneses kapcsolókkal kívánják megoldani az autó üzemeltetése során fellépő kopogást. Amennyiben ugyanis megkeresik a hengerfejnek azt a pontját, amely felelős a detonációs égésért, és ide mágneses érzékelőt helyeznek, elejét vehetik egy önműködő gyújtásszabályozó elektronikai rendszer segítségével az egész folyamatnak. Ezáltal feleslegessé válnak a benzinbe kevert oktánszámjavítók (ami leggyakrabban tetraetil-ólom), növekszik a motor élettartama, ugyanakkor olcsóbbak és megbízhatóbbak lesznek. Hasonlóan megdöbbentő az elektronikában újonnan kifejlesztett buborékmemóriák, felvevő- és lejátszófejek minősége, ugyanis messze felülmúlják az eddigi legjobb csúcsmínőségű terméket is. Az üvegfémből készült transzformátormagok csökkenthetik az újramágnesezés során az örvényáramok okozta és hiszterézis veszteségeket, így jelentős anyagiakat szabadíthatnak fel. Ettől az újítástól az elektromos áram fogyasztói árának csökkenését várják” (Vida Z.T.1994) Ezek a megjósolt elvárások még nem valósultak meg, az ipari technika előrehaladása lassúbb mint a kutatási eredmények megjelenése, de azok reményt nyújtanak a mielőbbi gyümölcseztetésükre.

M. E.

Új járművek elektromos energiával való ellátása

II. rész

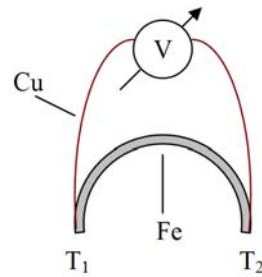
4. Hőelemek

a) A Seebeck-effektus

Ha két különböző anyagból összeállított áramkörben az érintkezési helyek különböző hőmérsékleten vannak, a zárt körben – a keletkező termoelektromos feszültség következtében – elektromos áram jelentkezik (Seebeck-jelenség, 1822).

A jelenség tanulmányozására szolgáló berendezés vázlatát a 6. ábrán láthatjuk. A keletkező feszültség a fémek (félvezetők) anyagi minőségétől és a T_1 meg a T_2 hőmérsékletek különbségétől függ. Kis hőmérsékletkülönbség esetén a feszültség $U_{12} = S_{12} \cdot (T_2 - T_1)$ alakban írható, ahol $S_{12} = S_1 - S_2$ (az S_1 és S_2 az 1. illetve a 2. fémet jellemző Seebeck-féle állandó).

A Cu-Fe fém páros esetében 100 K hőmérsékletkülönbségnél 1,22 mV-os feszültség keletkezik. Egy néhány anyag Seebeck-féle állandóját a 4. táblázatba foglaltuk.



6. ábra

A Seebeck által felfedezett termoelektromos hatás lehetővé teszi, hogy hőenergiából elektromos energiát kapjunk, de fém párosok esetében a hatásfok igen kicsi, messze az 1 % alatt marad. 1949-ben ismerte fel E. Justi és W. Schottky, hogy a félvezetők bizonyos fajtái eredményesen alkalmazhatók, ezzel lehetővé vált 10 – 20 %-os hatásfok elérése is.

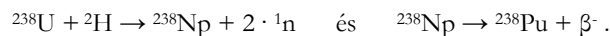
Anyag	Al	Ag	Cu	W	(BiSb) ₂ Te ₃	Bi ₂ (TeSe) ₃	ZnSb
S [μ V/K]	-0,2	3,65	3,98	5,1	195	-210	220

4. táblázat

Két különböző anyagi minőségű fém, félvezető összehegesztésével nyert áramkört, melynek szabad végei között a Seebeck-jelenség folytán feszültség jön létre, ha a hegesztési pontok különböző hőmérsékleten vannak, hőelemnek (termoelemnek) nevezzük. Az újráművek termoelemeinek a működését biztosító hőmennyiség származhat valamely mesterségesen előállított radioaktív izotóp bomlásából vagy 235-ös izotópban kb. 20%-ra feldúsított urán láncreakciójából. Az első esetben a berendezést radioizotópos termoelektromos generátornak, míg a második esetben termokonverter reaktornak nevezzük.

b) Radioizotópos termoelektromos generátor (RTG)

Az úrhajózás jelenlegi kutatási tervei szempontjából a 238-as plutóniummal készített RTG-k a legalkalmasabbak, ami az alábbiakban midjárt ki is fog derülni, hogy miért. A plutónium 238-as izotópját Glenn Seaborg és munkatársai fedezték fel 1940-ben. A ²³⁸Pu szintetizálását úgy valósították meg, hogy ²³⁸U-t 16 MeV energiájú deuteronokkal ütköztettek:



A ²³⁸Pu izotóp α - aktív és 87,7 év felezési idővel bomlik:



A keletkezett ^{234}U atommag már csak nagy felezési idővel ($2,5 \cdot 10^5$ év) bomlik tovább az urán – rádium radioaktív család tagjaként, hét α – bomlás és négy β – bomlás után stabil ^{206}Pb lesz belőle. Számítsuk ki továbbá a (3)-as spontán bomlási magfolyamat reakcióhőjét! Ennek érdekében alkalmazzuk az energia megmaradásának az elvét erre a magfolyamatra:

$$M_{\text{Pu}} \cdot c^2 = M_{\text{U}} \cdot c^2 + M_{\alpha} \cdot c^2 + E_{\text{U}} + E_{\alpha} .$$

Az E_{U} és E_{α} kinetikus energiák összege a reakcióhő (reakcióenergia):

$$Q = E_{\alpha} + E_{\text{U}} = (M_{\text{Pu}} - M_{\text{U}} - M_{\alpha}) \cdot c^2 \quad (4)$$

és számértékekkel:

$$Q = (238,049520 - 234,040900 - 4,002604) \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 2,998^2 \cdot 10^{16} = \\ = 897,592 \cdot 10^{-15} \text{ (J)} = 5,604 \text{ (MeV)} .$$

A reakcióhő ismeretében kiszámíthatjuk az $m = 1$ kg tömegű ^{238}Pu által szolgáltatott teljesítményt:

$$P = dW/dt = Q \left| \frac{dN}{dt} \right| = \Lambda \cdot Q = \lambda \cdot N \cdot Q = \ln 2 / T \cdot m / \mu \cdot N_A \cdot Q ,$$

és a számértékek behelyettesítése után:

$$Q = 0,693 \cdot (87,7 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600)^{-1} \cdot 238,04952 \cdot 1,6023 \cdot 10^{26} \cdot 897,592 \cdot 10^{-15} = 568 \text{ (W)} .$$

Mivel a ^{238}Pu hasznosítása Pu_2O_3 formájában történik, kiszámítjuk az 1 kg-nyi Pu_2O_3 által szolgáltatott teljesítményt is. A Pu_2O_3 relatív móltömege: $238 + 2 \cdot 16 = 270$.

Mínt hogy 270 kg Pu_2O_3 ugyanannyi ^{238}Pu atomot tartalmaz, mint 238 kg plutónium, következik, hogy 1 kg Pu_2O_3 – ban $238/270$ kg plutónium van. Tehát az 1 kg mennyiségű Pu_2O_3 által szolgáltatott teljesítmény:

$$P' = 568 \cdot 238 / 270 = 501 \text{ (watt)} .$$

A (3) – as magfolyamat során kibocsátott α – részecskék energiájának a kiszámítása érdekében alkalmazzuk a folyamatra az impulzus megmaradásának elvét is. Feltételez- vén, hogy a bomlás előtti ^{238}Pu nyugalomban van, impulzusa nulla. Ezért a két bomlás- termék impulzusa egyenlő nagyságú kell legyen:

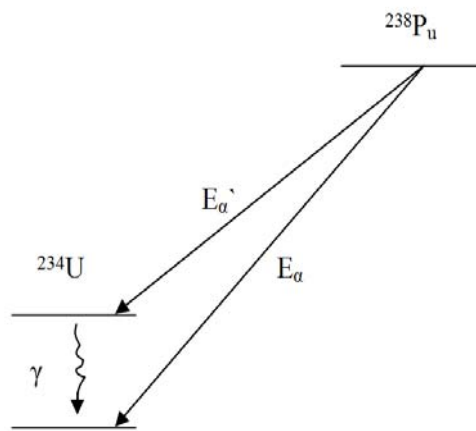
$$p_{\text{U}} = p_{\alpha} \Rightarrow 2 \cdot M_{\text{U}} \cdot E_{\text{U}} = 2 \cdot M_{\alpha} \cdot E_{\alpha} \Rightarrow E_{\text{U}} = E_{\alpha} \cdot M_{\alpha} / M_{\text{U}} ,$$

s ezt behelyettesítve a (4) – es összefüggésbe, kapjuk:

$$E_{\alpha} = Q \cdot M_{\text{U}} / (M_{\alpha} + M_{\text{U}}) = 5,604 \cdot 234,0409 \cdot (4,002604 + 234,0409)^{-1} = 5,51 \text{ (MeV)} .$$

Az α – részecskék energiájának meghatározására szolgáló α – spektrometriai mérések kimutatták, hogy az 5,51 MeV energiájú α – részecskék mellett még 5,45 MeV energiájúak is szerepelnek (92 % az 5,51 MeV energiájú és 8 % az 5,45 MeV energiájú). Ez az azal magyarázható, hogy a keletkezett ^{234}U atommagoknak két állapota (alapállapot és gerjesztett állapot) létezik. A két állapotnak különböző energiaszint felel meg (7. ábra).

Amikor a ^{234}U atommagok a gerjesztett állapotból az alapállapotba kerülnek, akkor $E_\gamma = E_\alpha - E_{\alpha'} = 5,51 \text{ MeV} - 5,45 \text{ MeV} = 60 \text{ keV}$ energiájú γ – fotonokat bocsátanak ki.



7. ábra

E γ – sugarak intenzitásának a csökkentése némi problémát jelent, hogy bizonyos műszerek mérését ne befolyásolhassák. Pontszerű γ – sugárforrásból származó sugárzás intenzitása a távolság négyzetével csökken. Ezért kell ezeket a sugárforrásokat az űrjármű problémás helyeitől minél távolabb elhelyezni. Az 1972. március 3-án indított Pioneer-10 űrszonda fedélzetén elhelyezett 10 műszert négy RTG látta el elektromos energiával. Az RTG-k két különálló oszlopon voltak elhelyezve, amelyek 120° -os szöveget zártak be egymással. Egy harmadik oszlopon a magnetométer kapott helyet. Egy másik megoldás a γ –sugárzás intenzitásának a csökkentésére a nagy gamma-sugárzást elnyelő anyagok (pl. az ólom) alkalmazása. Az α –részecskék áthatoló-képessége jelentéktelen, akár egy papírlap is elegendő megfékezésükre. Következésképp, a ^{238}Pu nagy mennyiségű hőenergiát termel folyamatosan, több éven keresztül egy viszonylag alacsony γ –foton/bomlás mellett (egy bomlásnál csak 8 %-os eséllyel jelentkezik γ –foton). A felsorolt jellemzők alkalmassá teszik olyan elektromos energia előállítási egységek megépítésére, amelyek akár egy emberi élet folyamán működőképesek lehetnek. Az RTG-eket olyan űreszközökben használják energiaforrásként, amelyek annyira távol kerülnek a Naptól (a külső bolygók térségében), hogy a napelemtáblák által termelt elektromos energia már túl kevés a szonda működtetéséhez. Ezek közé tartozott a Pioneer-10, -11, Voyager-1, -2, Galileo, Ulysses és a Cassini. RTG-eket használt még a két Viking Lande- rer, az Apollo küldetéseken a Holdon hagyott műszerek, a Lunohod roverek, a Nimbus, a Transit és a Les műholdak. A 238-as plutónium izotóppal működő RTG modelleket, amelyek alkalmazást nyertek az űrhajózás területén, az 5. táblázatban foglaltuk össze. RTG-eket más izotópokkal is készítettek. Az oroszok sarkkutatói celokra ^{90}Sr izotóppal gyártottak különböző RTG modelleket. Az RTG-k csak néhány 100 watt teljesítményt szolgáltatnak, tehát csak kisebb űrjárműveknél alkalmazhatók.

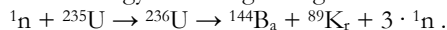
Név és modell	Ahol használták (felhasználó/ az RTG-k száma)	Szolgáltatott teljesítmény [W]		Használt üzemanyag [kg]	Tömeg [kg]
		Elektromos	Hő		
MM RTG	Prototípus fázisban, MSL	~110	2000	~4	<45
G PHS-RTG	Cassini (3), New Horizons (1), Galileo (2), Ulysses (1)	300	4400	7,8	55,9-57,8
MHW-RTG	Les-8/9, Voyager-1 (3), Voyager-2 (3)	160	240	~4,5	37,7
SNAP-3B	Transit-4A (1)	2,7	52,5	?	2,1
SNAP-9B	Transit-5BN 1/2 (1)	25	525	~1	12,3
SNAP-19	Nimbus-3 (2), Pioneer-10 (4), Pioneer-11 (4)	40,3	525	~1	13,6
Módosított SNAP-19	Viking Lander-1 (2), Viking Lander-2 (2)	42,7	525	~1	15,2
SNAP-27	Apollo 12-17 ALSEP (1)	73	1480	3,8	20

5. táblázat

Ambiciósabb űrmissziók esetében néhány 100 kW teljesítményű elektronukleáris centrálék szükségesek, amelyek működését a maghasadások felszabaduló energia biztosítja.

c) *Termokonverter reaktorok (TKR)*

Az atomreaktor indukált maghasadás folytán hőenergiát ellenőrzött módon előállító berendezés. A hőenergia az alábbi egyik lehetséges maghasadásból származik:



Ennek a magfolyamatnak a reakcióenergiája:

$$Q = (M_U + M_n - M_{Ba} - M_{Kr} - 3 \cdot M_n) \cdot c^2 = \epsilon_{Ba} \cdot A_{Ba} + \epsilon_{Kr} \cdot A_{Kr} - \epsilon_U \cdot A_U = \\ = 8,2 \text{ MeV} \cdot 144 + 8,6 \text{ MeV} \cdot 89 - 7,5 \text{ MeV} \cdot 235 = 183,7 \text{ MeV} .$$

Nem egészen világos, hogy az urán miért nem két egyenlő tömegű magra esik szét a legnagyobb valószínűséggel (a legnagyobb valószínűséggel megvalósuló maghasadások esetében a hasadástermékek tömegszámainak az aránya kb. 3/2), hisz energetikailag az lenne a legkedvezőbb. Ha az uránatom épp két egyenlő tömegszámú atomra szakadna szét két neutron kibocsátása mellett, akkor a reakcióhő

$$Q' = 2 \cdot 8,45 \text{ MeV} \cdot 117 - 7,5 \text{ MeV} \cdot 235 = 214,8 \text{ MeV}$$

lenne, vagyis $(214,8 - 183,7)/160,2 = 16,9\%$ -kal több mint az előbbi esetben. Végül számítsuk még ki, hogy mennyi hőenergia származik $m = 1 \text{ kg}$ ${}^{235}\text{U}$ hasadásából:

$$V \cdot N_A \cdot Q = m \cdot \mu^{-1} \cdot N_A \cdot Q = 235^{-1} \cdot 6,023 \cdot 10^{26} \cdot 183,7 \text{ MeV} = 4,708 \cdot 10^{26} \text{ MeV} .$$

Nagyobb teljesítményt igénylő űrmissziók megvalósítása érdekében már az 1960-as években az Amerikai Egyesült Államok és a Szovjetunió szakemberei olyan termokonverter reaktor megtervezésén, megépítésén dolgoztak, amely néhány 10 kW-tól több 100 kW teljesítményt szolgáltatna. Az A. E. Á.-ban erre a célra egy olyan, 235-ös izotópban dúsított uránnal működő TKR-t képzeltek el, amelyben a neutronok lassítása cirkónium-hidridbe beágyazott hidrogén atomokkal való ütköztetésekkel valósul meg. Az első jelentős lépés ebben az irányban 1965 áprilisában történt, amikor pályára állították azt az űrhajót, amelyen egy 500

watt teljesítményű cirkónium-hidrides reaktor (SNAP-10 A) volt az áramszolgáltató. A reaktor aktív zónája egy 7,5 literes nagyságú, henger volt. Az aktív zónában fejlődő hőt folyékony nátrium és kálium keverékkel vezették el. Ennek a 650°C-os keveréknek a hőenergiáját termoelemekkel elektromos energiává alakították. Később terveztek olyan cirkónium-hidrides reaktorokat is, amelyek elektromos teljesítménye 10-100 kW-ot is elért. 1964-ben az oroszok is építettek egy 500 W-os elektromos teljesítményű termokonverter reaktort (Romaska-t). Az aktív zónában grafit és urán keveréke foglalt helyet. A henger alakú aktív zónát ($t_{\max} = 1800\text{ °C}$) berillium-reflektor vette körül. A reflektor külső részén helyezték el a szilícium-germánium hőelemeket.

5. Megjegyzések

Amint az a 3. táblázatból kitűnik, Naprendszerünk belső bolygóinak a térségében az úrrajművek műszereinek az energiaellátása a legtöbb esetben napelemekkel megvalósítható, hisz ebben a térségben jelentős mennyiségű napenergia áll rendelkezésünkre, mégpedig ingyen. A külső bolygók térségébe juttatott néhány 100 kg-os űrszondák műszerüzemeltetése ^{238}Pu izotóppal működő RTG-kel optimálisan megoldható. Nagyobb elektromos teljesítményt igénylő űrmissziók esetében az energiaellátás termokonverter reaktorokkal képzelhető el, amelyek már több 100 kW elektromos teljesítményt is biztosíthatnak. A nagy teljesítmény létrehozása mellett a TKR-eknek még van egy nagy előnyük az RTG-kel szemben: a TKR-ek működését szabályozni lehet (csak ott hozzuk működésbe, ahol szükséges, s így hasadóanyagot takaríthatunk meg), holott az RTG-k teljesítménye a

$$P = \lambda \cdot N \cdot Q = \lambda \cdot N_0 \cdot Q \cdot e^{-\lambda t}$$

képlet szerint exponenciálisan csökken.

Hasonlítsuk össze végül azt is, hogy a különböző üzemanyagokból tömegegységenként mennyi energia nyerhető (6. táblázat).

Üzemanyag	Energia		
	J	MeV	kWh
1 kg Z_n oldódása	$2,6 \cdot 10^6$	$1,625 \cdot 10^{19}$	0,7222
1 kg ^{238}Pu bomlása	$2,267 \cdot 10^{12}$	$1,417 \cdot 10^{25}$	$0,629 \cdot 10^6$
1 kg ^{235}U hasadása	$75,42 \cdot 10^{12}$	$47,08 \cdot 10^{25}$	$20,950 \cdot 10^6$
1 kg ^1H fúziója	$644,45 \cdot 10^{12}$	$402,336 \cdot 10^{25}$	$179,000 \cdot 10^6$

6. táblázat

Forrásanyagok

- [1] Inzelt György: Űreszközök áramforrásai, a Természet Világa 2001. januári számában megjelent cikk elektronikus változata
- [2] Glenn T. Seaborg, William R. Corliss: Omul și atomul, Editura Științifică, București, 1974
- [3] K. N. Muhin: Fizica nucleară experimentală, Volumul I, Editura Tehnică, București, 1974
- [4] Vermes Miklós: A természet energiái, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964

Ferenczi János, Nagybánya