

## 11. Előadás: A radioaktív szennyezés kezelése

1. Nukleáris fizikai alapismeretek
2. Sugárzásmérés. Sugárvédelem.
3. Természetes és mesterséges radioaktivitás.
4. Radioaktív hulladékok és tárolásuk.

---

### 1. Nukleáris fizikai alapismeretek

#### 1.1. Az atommag jellemzői

Méret:  $10^{-15} - 10^{-14}$  m

Tömege:  $m \approx A \cdot m_p$ , ahol  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg a proton tömege. Az  $A$  egész számot tömegszámának nevezzük.

Az atommag átlagos sűrűsége:  $1,4 \cdot 10^{17}$  kg/m<sup>3</sup>

Az atommag elektromos töltése: pozitív, nagysága  $Q = Z \cdot e$ , ahol  $Z$  egész szám a **magtöltés szám**,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C pedig az elemi **töltésadag**.

#### 1.2. Az atommag belső szerkezete

Az atommag  $A$  darab nukleonból áll. Ebből  $Z$  darab pozitív elektromos töltésű proton és  $A-Z$  darab semleges neutron található a magban. A két nukleon tömege közelítően megegyezik:  $m_p \approx m_n$ . A magok jelölése:  ${}_Z^A X$  módon történik, ahol bal felső indexben az  $A$  tömegszám értékét, bal alsóban pedig a  $Z$  töltésszám értékét tüntetjük fel  $X$  a megfelelő elem vegyjele. (Pl. oxigén atommag jelölése:  ${}^8_{16}O$ ).

Izotóp atommagok fogalma: Azonos  $Z$  töltésszámú, de különböző  $A$  tömegszámú magokat izotóp magoknak nevezzük. (hidrogén izotópok:  ${}_1^1H$ ,  ${}_1^2D$ ,  ${}_1^3T$ .)

#### 1.3. Mageró, kötési energia

Nukleonokat összetartó erős kölcsönhatást nukleáris kölcsönhatásnak, vagy magerónek nevezzük. Értéke a magon belül kb. 1000-szerese a taszító elektromos erőnél. Jellemzője: a rövid hatótávolság (magon belül csak a szomszédos nukleonok között hat) és a töltés függetlenség (proton-proton között ép úgy hat, mint proton-neutron, vagy neutron-neutron között). A közeli nukleonok között a mageró mindig vonzó jellegű.

Kötési energia: Azt az energiát, amelynek befektetése árán az atommag különálló nukleonokra szedhető szét kötési energiának nevezzük. A kötési energia az atommag nukleonokból való összeállásakor felszabadul. A kötési energia nagysága milliószor akkora, mint az atomok kémiai kötési energiája: nagyságrendje:  $E_k \approx 10^{-13}$  J. *Értéke közel arányos a tömegszámmal, de a kisebb tömegszámú könnyű atommagoknál és a nagy tömegszámú nehéz atommagoknál kisebb, mint a közepes tömegszámú vas közeli magok esetén. Ezért a legerősebb magstruktúra a vasatommag és a körülötte lévő magoknál van.*

Fajlagos kötési energia: A mag kötésének erősségét az egy nukleonra jutó kötési energiahányaddal jellemezhetjük, amelyet fajlagos kötési energiának nevezünk. A fajlagos kötési energiát megkapjuk, ha a kötési energiát elosztjuk az  $A$  tömegszámmal:  $E_{fk} = E_k/A$ .

Kötési energia kiszámítása: A kötési energiát az Einstein tömeg-energia ekvivalencia összefüggéséből határozhatjuk meg:  $E_k = \Delta m \cdot c^2$ , ahol  $\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$  kifejezést tömeghiánynak vagy tömegdefektusnak nevezzük.

#### 1.4. Nukleáris energia felszabadulásának lehetőségei:

A nukleáris energia az atommagokból 3 féleképpen szabadulhat fel:

- *Könnyű atommagok egyesülésével (fúzióval),*
- *Nehéz atommagok hasadásával (fisszióval),*
- *Atommagok radioaktív bomlásával.*

A **fúzió** a természetben a *Nap* és más csillagok energiatermelését biztosítja. Mesterségesen szabályozatlan módon a *termonukleáris bombáknál* valósítható meg. Szabályozott módon *fúziós reaktorokban*, energiatermelés céljából történő megvalósítására a század közepéig nincs remény.

A **nehézatommagok hasadása** mesterségesen - szabályozott módon - az *atomreaktorokban*, szabályozatlanul pedig a hasadó *atombombákban* valósul meg.

A **radioaktív bomlás** a természetben előfordul a *nehéz atommagoknál*, és *egyes könnyű magoknál* is történik. Mesterségesen is előállíthatók magreakciókkal radioaktív izotópok. Egyik előállítási mód a *neutronokkal történő besugárzás*. Ezt nevezzük *neutron aktiválásnak*.

#### 1.5. A radioaktivitás fizikai mennyiségei

- **Aktivitás:**
- **Felezési idő:**
- **Bomlási állandó:**

Az **aktivitás** megadja a másodpercenként elbomló atommagok számát. Jele:  $A$ ;

Egysége  $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$ . Kiszámítása: 
$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

**Felezési időnek** nevezzük azt az időtartamot, amennyi alatt az el nem bomlott atommagok száma – a folyamatos bomlás következtében – azonos időközönként megfeleződik. Jele:  $T_f$ , Egysége: másodperc, perc, óra, ..., év.

A **Bomlási állandó** az atommagok bomlási sebességére jellemző mennyiség. Jele:  $\lambda$ , Egysége  $1/\text{s}$ . A bomlási állandó fordítva arányos a felezési idővel. A két mennyiség közötti összefüggés:

$$T_f = 0,69/\lambda.$$

#### 1.6 Bomlási törvényszerűségek

**Differenciális bomlási törvény:**

Valamely radioaktív elem  $A$  aktivitása egyenesen arányos az elemben található, még nem elbomlott atommagok számával. Az arányossági szorzó a *bomlási állandó*.

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda \cdot N.$$

Az aktivitás az  $m$  tömeggel is arányos, így felírható az alábbi összefüggés:

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda \cdot \frac{m}{M} N_A.$$

**Integrális bomlási törvény:**

A differenciális törvényből kifejezhető hogyan csökken  $t$  idő elteltével az  $N$  bomlatlan atommagok száma: ( $e = 2,71 \dots$  természetes szám),

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{vagy} \quad N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_f}},$$

ahol  $t/T_f = x$  kitevő hányados az atommagok feleződésének számát jelenti.

### 1.7. Radioaktív bomlási sorok (családok):

A természetben előforduló radioaktív nehézatommagok bomlási sorokba rendezhetők, melyeknek névadója a kezdő őselem (vagy a végső stabil elem). Egy-egy családon belül a tömegszámok 4-gyel, vagy 0-val változnak meg, így a négygel való osztáskor a maradékok ugyanazok. Ennek megfelelően négy bomlási sor lehetséges:

.	őseleme	felezési idő	stabil végső elem
4n-sor: tórium-sor	$^{232}_{90}\text{Th}$ ; tórium	14 milliárd év	$^{208}_{82}\text{Pb}$ ólom.
4n + 1 sor: neptúnium-sor	$^{237}_{93}\text{Np}$ ; neptúnium	2,2 millió év	$^{209}_{83}\text{Bi}$ .
4n+2 sor: urán-sor	$^{238}_{92}\text{U}$ ; urán	4,5 milliárd év	$^{206}_{82}\text{Pb}$ ólom.
4n + 3 sor: aktínium-sor	$^{235}_{92}\text{U}$ ; urán	710 millió év	$^{207}_{82}\text{Pb}$ .

## 2. Sugárzásmérés. Sugárvédelem.

<http://ion.elte.hu/~pappboti/radioaktivitas/cimlap/tematika/radioakt/>

A különféle sugárzások által az élő testben elnyelt energiamennyiség mérési módszereivel a dozimetria foglalkozik. Olyan detektor, amely minden szempontból úgy viselkedik, mint az emberi szövetek, nem létezik. Megoldást jelenthet, ha a különböző dózismérőket együtt, egymást kiegészítve alkalmazzuk.

### Külső sugárterhelés mérésére alkalmas eszközök

Az ionizációs kamra elvén működő dózismérők:

**Töltőtoll doziméter:** Általában gamma-sugárzás mérésére használják. A töltőtoll doziméter normálállapotú levegőt tartalmazó ionizációs kamra. Általában film-dózismérővel együtt alkalmazzák.

**Gyűszű ionizációs kamra** Neutron-dozimeter. Ha a kamra gáztérfogata nagyon kicsi, akkor a benne lévő gáz hatása a kamra falának hatásához képest elhanyagolható lesz.

**Film dózismérő.** A film-dózismérőket gamma- és béta-sugárzás dózisének mérésére használják. A kiértékelendő film feketedését az ismert dózisos alkalmazásával előállított kalibráló filmsorozattal vetik össze.

**Termolumineszcens dózismérő (TLD).** A kristályokban a besugárzás hatására szabaddá váló elektronok a kristály hibahelyein befogódnak, s onnan csak melegítés hatására lépnek ki.

### Belső sugárterhelés mérése

Nyitott izotópokkal dolgozó laboratóriumokban a szervezetbe került radioaktív anyagok által létrehozott dózisterhelést is mérni kell. A belső terhelést a szervezetben lévő radioaktivitás méréséből lehet meghatározni. Ezek az eszközök a **testből kilépő sugárzás** energiáját mérik, többnyire NaI kristályok, **folyadék és plasztik szcintillátorok**.

### A munkahelyek sugárvédelmi ellenőrzése

- Dózisszintek mérése
- Felületi szennyezettség mérése
- Levegő szennyezettségének mérése

## A környezet radioaktivitásának ellenőrzése

A környezetvédelmi mérések aktivitásmérésen alapulnak. A környezeti mintákban elsősorban alfa-és béta aktivitásokkal illetve az ezeket kísérő gamma-sugárzással találkozunk. A mérések során a detektorok jelzéséből következtetünk az aktivitásra. Az aktivitásmérő műszerek detektorai általában ionizációs kamrák, és Szcintillációs számlálók.

### Az ionizáló sugárzások detektálására alkalmas eszközök

- Gáztöltésű számlálók
- Szcintillációs számlálók
- Félvezető detektorok
- Részecskenyom detektorok

## 3. Természetes és mesterséges radioaktivitás.

<http://hu.wikipedia.org/wiki/Radioaktivitás>

A **természetes** eredetű **sugárzás két forrása az űr és a földkéreg**. A kozmikus (a Napból és a még távolabbi űrből jövő), valamint a földkérgi sugárzások a földi élet kialakulását megelőzően is hatottak. Az ember sugárzási térben fejlődött ki és fejlődik ma is tovább. A természetes radioaktív anyagok kiszűrhetetlenül és állandóan jelen vannak a környezetünkben (a talajban, az építőanyagokban, a levegőben, az élelmiszerekben és az ivóvízben), valamint a szervezetünkben.

A **testünkben** jelenlévő (a sejtjeinket alkotó, illetve a levegővel, a táplálékkal avagy az ivóvízzel felvett) **természetes eredetű radioaktív atomok közül minden órában közel 16 milliónyi bomlik el**. A sugárzó részecskék és fotonok olyan óriási mennyiségben keletkeznek a környezetünkben és a szervezetünkben, hogy **minden másodpercben átlagosan 75.000 éri a testünket**. A Föld népessége természetes forrásokból (kozmosz és földkérgi sugárzásból) **évente átlagosan 2,4 mSv sugárterhelést** kap.

<b>Természetes</b>	<b>(2,4 mSv/év)</b>
kozmosz külső	0.3 mSv
kozmosz belső	0.015 mSv
földkérgi külső	0.5 mSv
földkérgi belső	1.6 mSv
<b>Mesterséges</b>	<b>(0,4 mSv/év)</b>
nukleáris ipar	0.0002 mSv
orvosi célú	0.4 mSv
atomrobbantás	0.01 mSv

A **radonnak** köszönhető sugárdózis annál nagyobb, minél többet tartózkodunk rosszul, avagy nem szellőztetett, illetve földszinti, s netán földalatti helyiségben.

A múlt század legvége óta a természetes sugárzáson felül az emberiséget **mesterséges** (az ember által létrehozott) forrásokból származó **sugárterhelés** is éri. A röntgensugárzás a népesség mesterséges eredetű átlagos sugárterhelésének mind a mai napig messze a legnagyobb részét okozza. A mesterséges forrásokból származó összes sugárterhelésünk (mind a Föld, mind hazánk egy lakosára számítva) kevesebb a természetes eredetű évenkénti sugárdózisunk 20 %-ánál. Ennek a legjelentősebb összetevője a sugárforrások **orvosi alkalmazása**, amelyek révén évente átlagosan **0.4 mSv** sugárterhelést kapunk.

A **mérési adatok nem támasztják alá** az atomerőművek iránti **túlzott félelmet és ellenszenvet**. Különösen érvényes ez egy olyan egyéb energiaforrásokban szűkölködő országra, mint hazánk, ahol a paksi atomerőmű a villamos energiatermelésünk közel felét szolgáltatja, mérhető vagy kimutatható lakossági többlet sugárterhelés nélkül!

Amíg a dohányzás körülbelül 2000, a közúti balesetek 200, a hagyományos erőművek pedig 24 nappal rövidítik meg az átlagéletkort, addig az atomerőművek csupán 0.04 nappal, jöllehet ezen utóbbit 250 napra becsülte a lakosság. Felmérések szerint a vízbefulladás (élettartam rövidülésben jelentkező) átlagos kockázata ezerszer, a gépkocsibaleseté ötezerszer, a túltápláltságé húszszerszer, míg a dohányzása ötvenezereszer nagyobb, mint az atomerőművéké.

#### 4. Radioaktív hulladékok és tárolásuk.

Országosan folyamatosan kezelnünk kell az **atomerőművi kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékokat**, továbbá el kell helyeznünk a **kiégett üzemanyagokat és a nagy aktivitású radioaktív hulladékokat** [http://www.haea.gov.hu/web/v2/portal.nsf/html\\_files/hulladekkezeles](http://www.haea.gov.hu/web/v2/portal.nsf/html_files/hulladekkezeles)

##### A Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló

A püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló 1976-ban kezdte meg működését; feladata az egészségügyből, kutatásból, oktatási és ipari alkalmazásokból származó radioaktív hulladék elhelyezése volt. 2004 végére a telephely eredeti tárolókapacitása megtelt.

A létesítményt 1998. július 1-jétől a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság (RHK Kht.) üzemelteti. 2003. év során jogszabályi változások miatt a telephely hatósági felügyelete az ÁNTSZ Országos Tisztifőorvosi Hivataltól (OTH) átkerült az ÁNTSZ Budapest Fővárosi Intézetéhez. 2004. év végén a tároló üzemeltetési engedélyje lejárt, ezért az új jogszabályi előírásoknak megfelelően összeállításra került az engedélyezési dokumentáció, amely alapján a hatóság az üzemeltetési engedélyt 2015. február 28-ig megadta.

Az I. ütem eredményei alapján készült a püspökszilágyi RHFT biztonságnövelő programjának II. üteme a 2006-2010. időszakra, melyben célként az alábbiak fogalmazódtak meg:

1. Biztosítani kell a biztonság fenntartásához és fejlesztéséhez szükséges műszaki-technológiai feltételeket;
2. Végre kell hajtani a biztonságnövelő intézkedéseket - melyeknek hatékonyságát biztonsági értékelésekkel kell meghatározni - és ezzel párhuzamosan szabad helyet kell biztosítani a további, intézményi (nem atomerőművi) eredetű hulladékok elhelyezésére.



Paks, átmeneti tároló



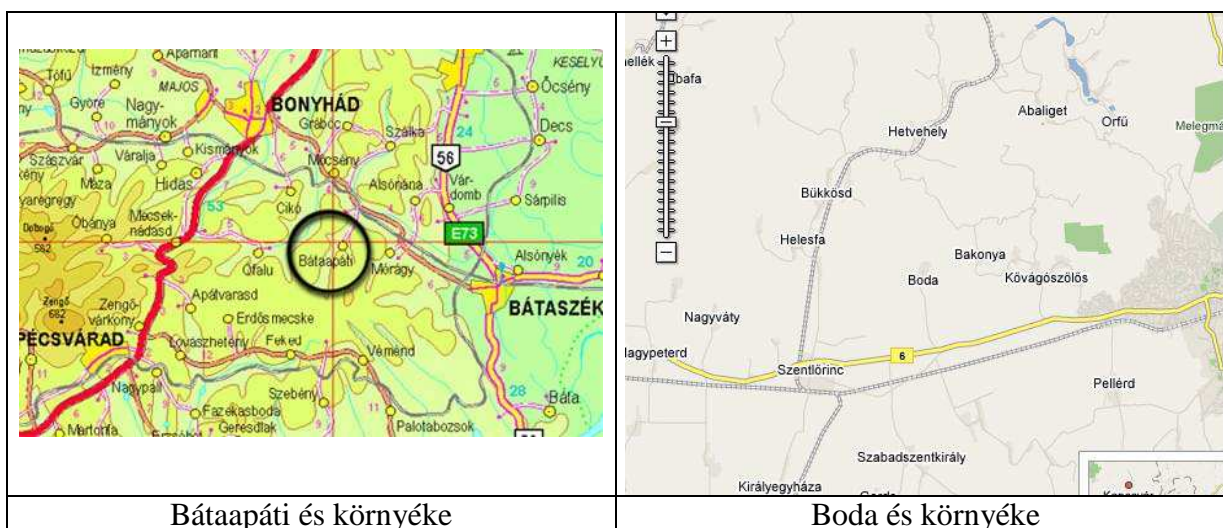
Bátaapáti, tároló bejárata



## Az atomerőműi kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok kezelése

A paksi atomerőműben keletkező kis- és közepes aktivitású hulladék elhelyezésére alkalmas helyszín számára előnyösnek mutatkozott a **Bátaapáti (Üveghuta) térségében** létesítendő felszín alatti tároló koncepciója. A részletes telephelyvizsgálat 1997-ben kezdődött. A helyszín kiválasztására és a helyszín alkalmasságának megállapítására irányuló geológiai kutatásokat 1997-ben és 1998-ban végezték az üveghutai helyszínen, ugyanitt megkezdték a helyszín előzetes környezeti hatástanulmányának elkészítéséhez szükséges mérnöki munkát.

A földtani kutatások zárójelentése 2001-ben megállapította: **“A Bátaapáti (Üveghuta) telephely** a (vonatkozó) rendeletben megfogalmazott valamennyi követelményt teljesíti, így földtanilag alkalmas kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére.”. A zárójelentést az illetékes geológiai hatóság, az MGSZ DDTH is felülvizsgálta és azt 2003. december 4-i határozatában jóváhagyta. Bátaapáti és a környék lakossága kezdettől fogva támogatta a kutatási munkákat, majd 2005. július 10-én Bátaapáti lakosai helyi népszavazáson - 75%-os részvétel mellett - több mint 90%-ban mondtak igent a hulladéktároló megépítésére. Ehhez a környező települések önkormányzatai határozatban csatlakoztak.



## A kiégett üzemanyag és a nagy aktivitású radioaktív hulladékok kezelése

A kiégett üzemanyag és a nagy aktivitású radioaktív hulladékok tárolása a **Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója (KKÁT)** moduláris rendszerű, szükség szerint bővíthető száraz tárolójában történik, amelyet a GEC Alstom angol cég tervezett. Az első tizenegy modul (egyenként 450 kazetta kapacitással) már üzemel, és 2004 végén már 3767 kiégett kazettát tárolt. A létesítmény 50 évre lehetővé teszi a Magyarországon keletkező kiégett kazetták tárolását.

A kis mennyiségben keletkező **nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése** a Baranya megyei **Boda térségébe tervezett mélygeológiai tárolóban** nagy valószínűséggel lehetséges lesz. A kiégett atomerőművi üzemanyagot sokan nagy aktivitású hulladéknak gondolják, pedig a hatályos törvényi definíció értelmében nem az. A kiégett kazettákban további jelentős energiatermelési potenciál van, amely a jövőben értékes energiaforrásunk lehet. Más részről olyan, hosszú felezési idejű izotópok találhatóak a kiégett atomerőműi üzemanyagban, amelyek – kikerülésük esetén – a környezetre nagy veszélyt jelenthetnek, így hasznos lenne, ha ezeket a hulladékokat át lehetne alakítani, és ezáltal „ártalmatlanítani” lehetne.

Megfelelő kutatás-fejlesztés után erre nyújthat megoldást a **transzmutáció** (<http://www.matud.iif.hu/07jan/09.html>) ill. az azt alkalmazó, **negyedik generációs reaktorok** (Generation-IV International Forum (GIF), 2000) [6]. Ehhez kapcsolódnak magyar kutatások az **MTA KFKI** Atomenergia Kutatóintézetben és a **BME Nukleáris Technikai Intézetében** 2006 óta. A kutatások tárgya a kritikus állapotú vízzel hűtött termikus reaktortípus, ezen belül egyes zónatervezési, termohidraulikai, anyagtudományi és reaktorbiztonsági problémák tisztázása.

A **transzmutációs berendezés** prototípusának építése Los Alamosban folyik. Így a nagyaktivitású (radiológiai és politikailag) veszélyes hulladék problémája megoldódhat. Igaz, hogy reprocesszáló-transzmutáló rendszer megépítése nagyszabású és költséges műszaki vállalkozás, amibe egy ország önmaga nem foghat bele. Az atomenergia-termelés transzmutációs záróberendezését **nemzetközi összefogással** lehet megépíteni, **nemzetközi ellenőrzéssel** kell üzemeltetni. Elkészülte után viszont már gazdaságos, mert **benne a használt fűtőelemek energiakinyeréssel "eltüzelhetők"**. A maradvány pedig hazahozható és 600 évre gránitba temethető.

#### Hivatkozások:

KF-I-11.1	Radioaktivitás, radioaktív izotópok <a href="http://www.isotope-inst.com/html/radtec_h/mray3_h.htm">http://www.isotope-inst.com/html/radtec_h/mray3_h.htm</a>
KF-I-11.2	Dozimetria, Ionizáló sugárzások mérése, ELTE, <a href="http://ion.elte.hu/~pappboti/radioaktivitas/cimlap/tematika/radioakt/">http://ion.elte.hu/~pappboti/radioaktivitas/cimlap/tematika/radioakt/</a>
KF-I-11.3	Radioaktivitás <a href="http://hu.wikipedia.org/wiki/Radioaktivitas">http://hu.wikipedia.org/wiki/Radioaktivitas</a>
KF-I-11.4	Radioaktivitás <a href="http://www.kzs.hu/tudastar/fizika/radioaktivitas.ppt">http://www.kzs.hu/tudastar/fizika/radioaktivitas.ppt</a>
KF-I-11.5	Sugáregészségügyi ismeretek <a href="http://www.npp.hu/kornyezet/SugVedIsm.htm">http://www.npp.hu/kornyezet/SugVedIsm.htm</a>
KF-I-11.6	„A radioaktív hulladékok kezelésének hazai helyzete” Országos Atomenergia Hivatal <a href="http://www.haea.gov.hu/web/v2/portal.nsf/html_files/hulladekkezeles">http://www.haea.gov.hu/web/v2/portal.nsf/html_files/hulladekkezeles</a>
KF-I-11.7	Fehér Sándor: BMGE, Nukleáris Intézet “Radioaktív hulladékok transzmutációja”, <a href="http://www.matud.iif.hu/07jan/09.html">http://www.matud.iif.hu/07jan/09.html</a> , Magyar Tudomány 2007/01. 36.o.
KF-I-11.8	Gadó János MTA KFKI Atomenergiái Kutatóintézet: „A maghasadáson alapuló energiatermelés jövője”, Magyar Tudomány 2007/01. 31.o. <a href="http://www.matud.iif.hu/07jan/08.html">http://www.matud.iif.hu/07jan/08.html</a> ,

**Kérdések:**

- K-I-11.1. Mekkora az atommag mérete, tömege, töltése, mik az alkotó részei?
- K-I-11.2. Mit jelent ez a kifejezés: izotóp?
- K-I-11.3. Mekkora a nukleonok közötti kötési energia nagyságrendje, hányszorosa ez a kémiai kötési energiának?
- K-I-11.4. Hányféle módon szabadulhat fel nukleáris energia az atommagokból?
- K-I-11.5. Mit jelent a magfúzió, a maghasadás és a radioaktív bomlás?
- K-I-11.6. Adja meg az aktivitás, a felezési idő és a bomlási állandó definícióját, jelét és egységét!
- K-I-11.7. Fogalmazza meg a Differenciális bomlási törvényt!
- K-I-11.8. Fogalmazza meg az Integrális bomlási törvényt!
- K-I-11.9. Soroljon fel külső sugárterhelés mérésére alkalmas eszközöket!
- K-I-11.10. Nevezzen meg belső sugárterhelés mérésére alkalmas berendezést!
- K-I-11.11. Milyen vizsgálatokat kell elvégezni a munkahelyek sugárvédelmi ellenőrzése során?
- K-I-11.12. Soroljon fel az ionizáló sugárzások detektálására alkalmas eszközöket!
- K-I-11.13. Mi a forrása a természetes eredetű radioaktív sugárzásnak?
- K-I-11.14. Hány mSv/év sugárterhelés ér bennünket a természetes eredetű radioaktív sugárzásból?
- K-I-11.15. Hány mSv/év sugárterhelés ér bennünket átlagban a mesterséges forrásokból?
- K-I-11.16. Mi a feladata a püspökszilágyi Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht-nak 2006-2010 között, valamint 2011-2015 között?
- K-I-11.17. Mi tartozik az atomerőműi kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok közé, és hol fogja a Paksi Atomerőmű Zrt. tárolni ezeket?
- K-I-11.18. Mi tartozik az atomerőműi kiegészítő üzemanyag és a nagy aktivitású radioaktív hulladékok közé, és hol fogja a Paksi Atomerőmű Zrt. tárolni ezeket?
- K-I-11.19. Mire szolgál a reprocesszáló-transzmutáló rendszer?
- K-I-11.20. Mi a szakmai vélemény a maghasadáson alapuló energiatermelés jövőjéről?
- 

Pécs, 2012. február 20.

Dr. Német Béla