Lu-176 D-értékének meghatározása

Lajos Máté fizikus, hivatali főtanácsos

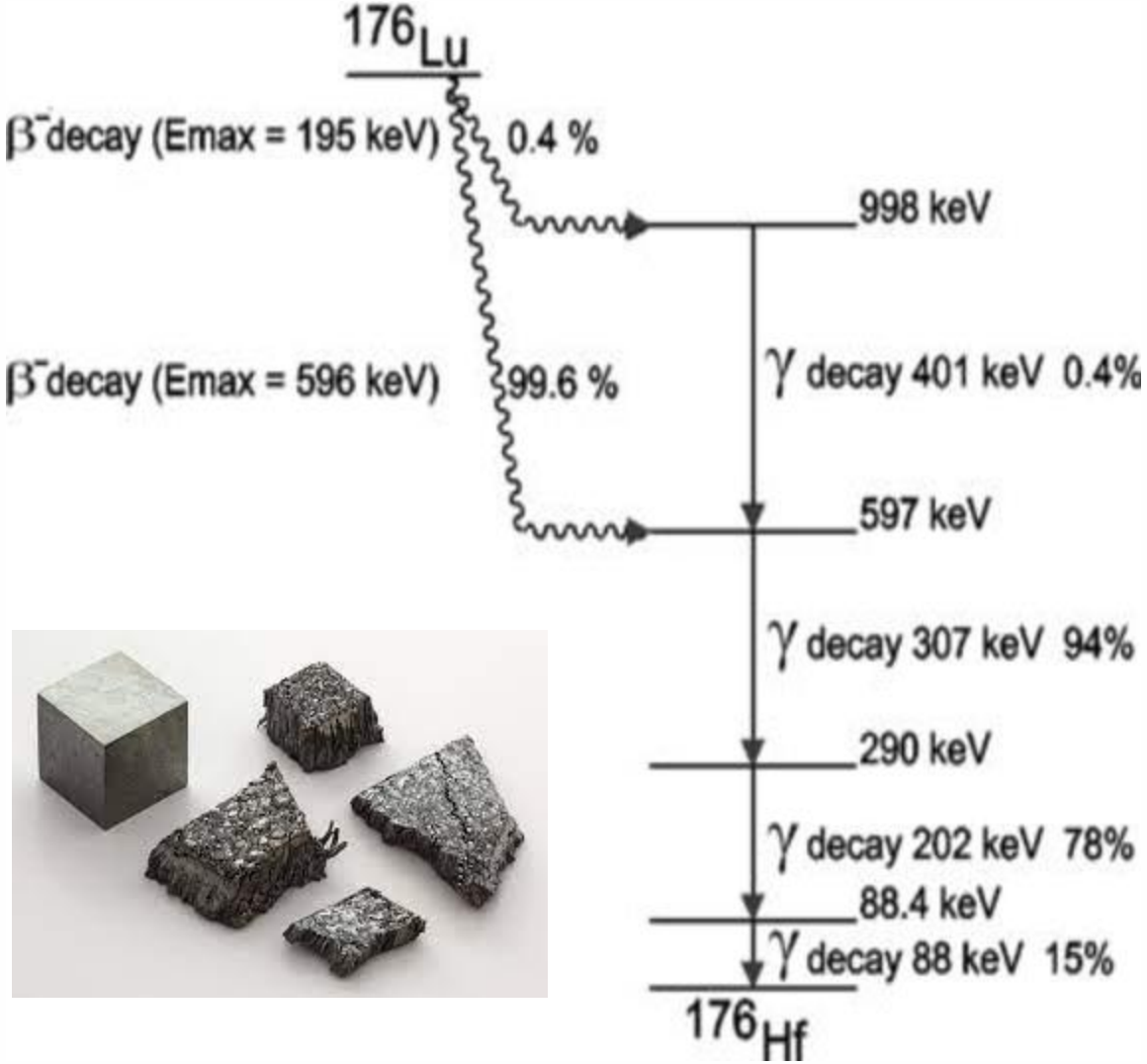
Osváth Szabolcs vegyész, hivatali főtanácsos

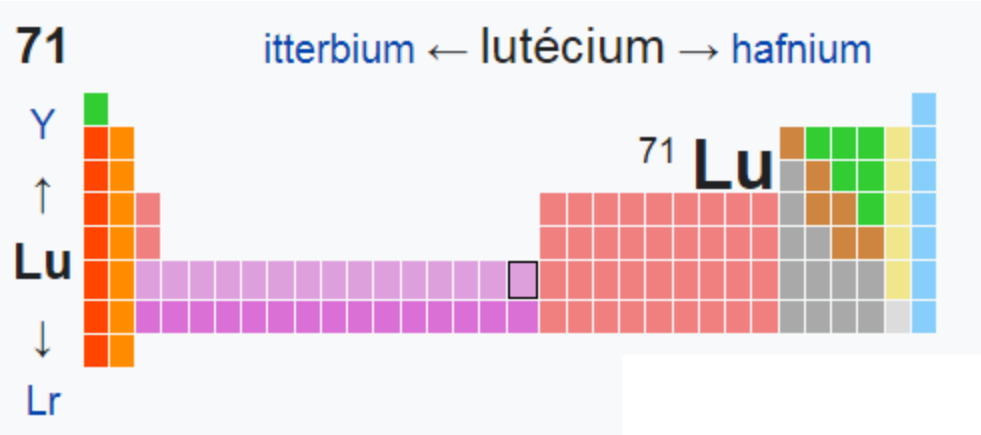
Nemzeti Népegészségügyi Központ

Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály

XLVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam
Zalakaros, 2021. szeptember 14–16.

Lu-176 nuklid





- Természetes előfordulás:
  - 97,41% Lu-175 (stabil)
  - 2,59% Lu-176 ($T_{1/2}$= 3,78·10^{10} év)
- Lu-176: szcintillációs PET detektorok (LSO, LYSO) saját sugárzását adja
- zárt sugárforrásként, LuO_2 kémiai formában kisállat PET-CT berendezés-ben belső standard forrás.

D-érték

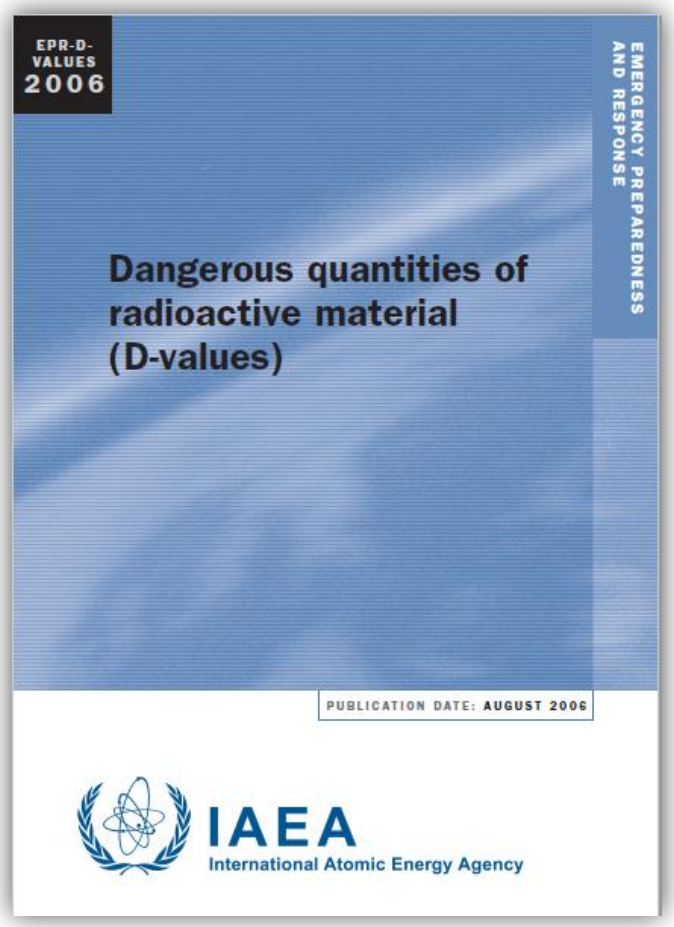
- A Nemzeti Népegészségügyi Központ az Országos Atomenergia Hivatal felkérésére elvégezte a Lu-176 radionuklid D-értékének meghatározását.
- 11/2010. (III. 4.) KHEM rendelet
  a radioaktív anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének rendjéről, valamint a kapcsolódó adatszolgáltatásról
- 2. § (1) bek. g) pontja szerint a D-érték (D aktivitás) a sugárforrások veszélyességének meghatározásához használt, radionuklidonként eltérő értékű normalizáló tényező.
- Használatos pl.: fizikai védelmi kategóriába soroláskor; export, import esetén
- Melléklet a 11/2010. (III. 4.) KHEM rendelethez: Radionuklidok veszélyességi skálájának D aktivitásai

Hungarian Atomic Energy Authority

Lu-176 D-érték

Melléklet a 11/2010. (III. 4.) KHEM rendelethez	
Radionuklidok veszélyességi skálájának D aktivitásai	
Radionuklid	**D aktivitás (TBq)**
H-3	$2x10^{3}$
Be-7	$1x10^{0}$
Be-10	$3x10^{1}$
C-11	$6x10^{-2}$
…	…
Lu-172	$4x10^{-2}$
Lu-173	$9x10^{-1}$
Lu-174	$8x10^{-1}$
Lu-174m	$6x10^{-1}$
Lu-176	**?**
Lu-177	$2x10^{0}$
…	…

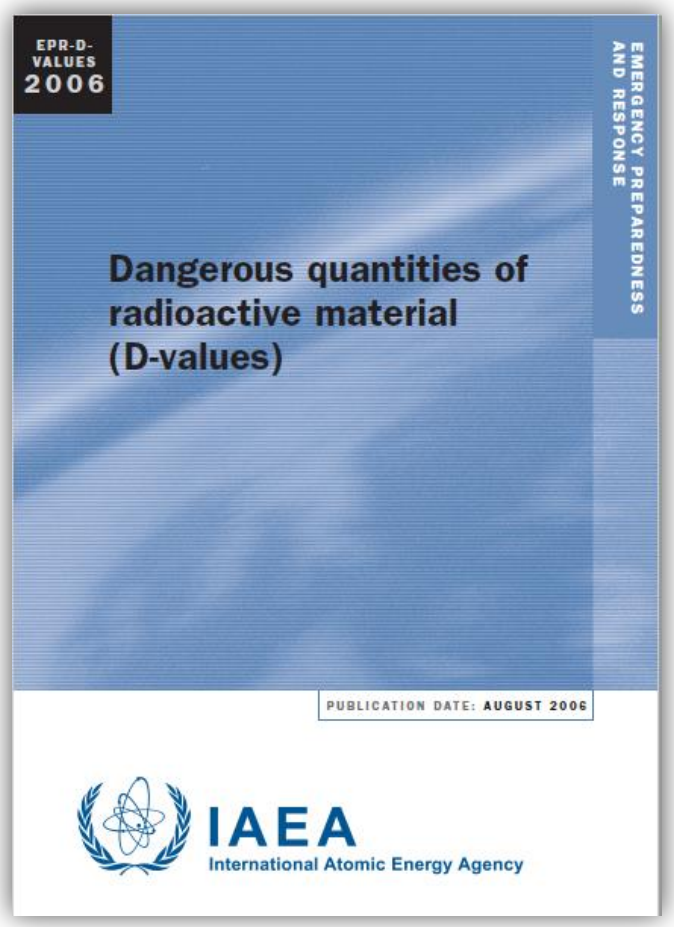
NAÜ Publikáció



- IAEA - Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values), 2006
- Minden radionuklidhoz két értéket kell meghatározni:
  - D_1-érték: felügyelet nélküli zárt sugárforrásokra,
  - D_2-érték: felügyelet nélküli nyitott (vagy azzá vált) sugárforrásokra vonatkozik,

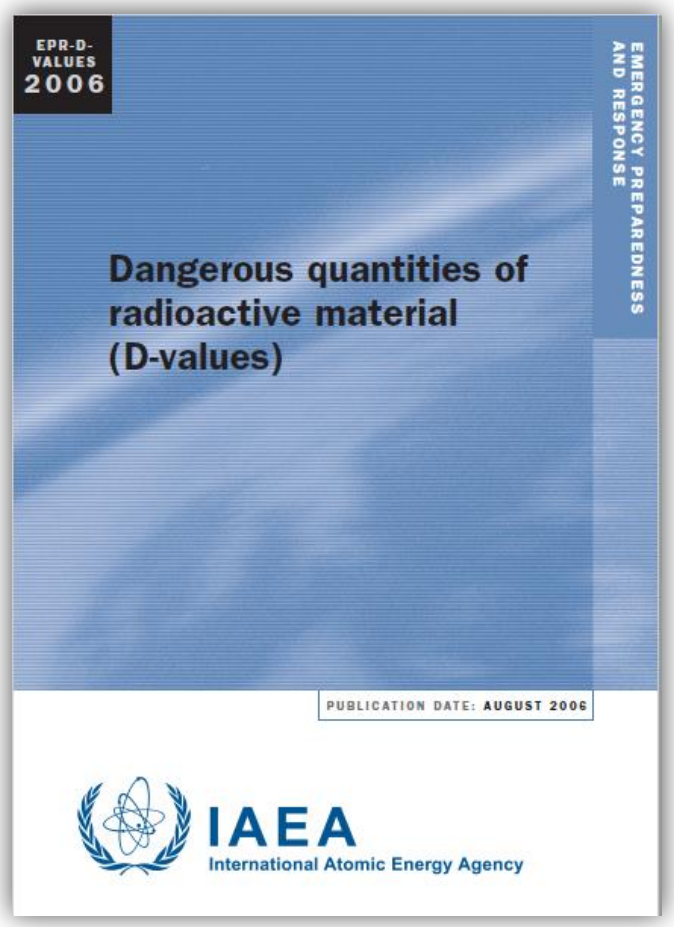
  amely aktivitások súlyos, determinisztikus egészségügyi hatásokat okozhatnak.
- A D-érték a D_1 és D_2 értékek közül a kisebbik.

D-érték meghatározásának módszerei



- NAÜ Publikáció 6. fejezet
- Expert módszer: a szakértői módszer a könnyen hozzáférhető adatokon, a meglévő útmutatások figyelembevételén és szakmai megítélésen alapul
- Risk módszer: a kockázati megközelítés, a súlyos determinisztikus hatások kialakulási kockázatának kvantitatív értékelésén alapul. A szakértői megközelítéssel számított D-értékek megfelelő-ségének értékelésére is használták.
- A D-érték meghatározásához az „expert” (számításokon alapuló) módszert használtuk.

NAÜ Publikáció - forgatókönyvek



- A NAÜ Publikáció III. melléklete szerinti szcenáriók
- A D_1 érték meghatározásához 2 forgatókönyv:
  - Zseb (Scenario I)
  - Szoba (Scenario II)
- A D_2 érték meghatározásához 4 forgatókönyv:
  - Belégzés (Scenario IIIE)
  - Lenyelés (Scenario IV)
  - Bőr szennyeződése (Scenario V)
  - Bemerülés radioaktív nemesgázba (Scenario VI)
- A D_1 érték meghatározását érdemes elvégezni.

NAÜ Publikáció, Lu-izotópok D-értékei

Radionuclide [a]	D-value (TBq)	D_1-value (TBq)	D_2-value (TBq)
Er-171	2.E-01	2.E-01	2.E+01
Tm-167	6.E-01	6.E-01	2.E+02
Tm-170	2.E+01	2.E+01	2.E+01
Tm-171	3.E+02	3.E+02	4.E+02
Yb-169	3.E-01	3.E-01	3.E+01
Yb-175	2.E+00	2.E+00	1.E+02
Lu-172	4.E-02	4.E-02	6.E+01
Lu-173	9.E-01	9.E-01	2.E+02
Lu-174	8.E-01	8.E-01	1.E+02
Lu-174m+	6.E-01	6.E-01	6.E+01
Lu-177	2.E+00	2.E+00	1.E+02
Hf-172+	4.E-02	4.E-02	6.E+00
Hf-175	2.E-01	2.E-01	3.E+01

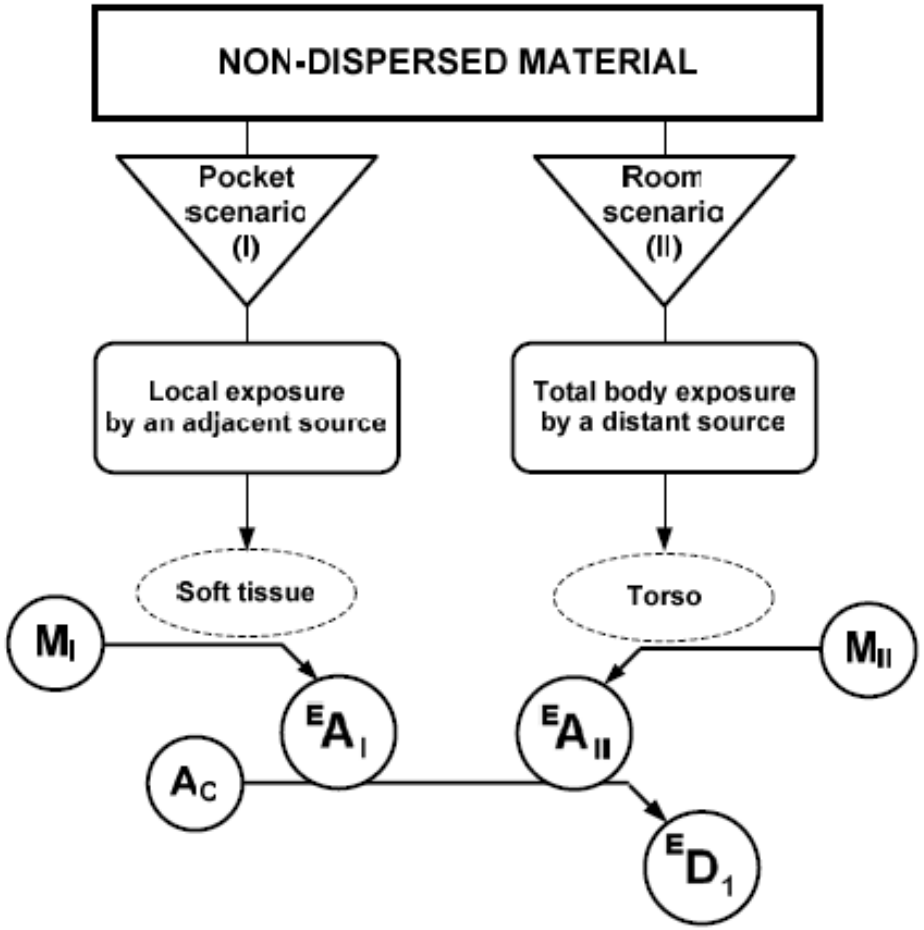
- A NAÜ Publikáció 1. táblázata szerinti D-értékek
- A Lu-176 nem szerepel a táblázatban.
- A felsorolt valamennyi Lu-izotóp esetében a D_1 érték a kisebb.
- Tekintettel a Lu izotópjainak hasonló magfizikai tulajdonságaira (közepes energiájú béta- és gamma-sugárzás kibocsátása), továbbá azonos kémiai és biológiai viselkedésére, Főosztályunk a D_1 érték meghatározását végezte el.

NAÜ Publikáció - forgatókönyvek

- A D_1 érték meghatározásához 2 forgatókönyv:
  - Zseb (Scenario I)
  - Szoba (Scenario II)
- Zseb (Scenario I): egy személy árnyékolatlan sugárforrást hordoz, ami a lágyszövetek lokális károsodását eredményezi

- Szoba (Scenario II): egy személy napokig, hetekig árnyékolatlan sugárforrás közelében tartózkodik, külső áthatoló sugárzásnak kitéve a teljes testét.

$^{E}D_1$ érték meghatározásának sémája

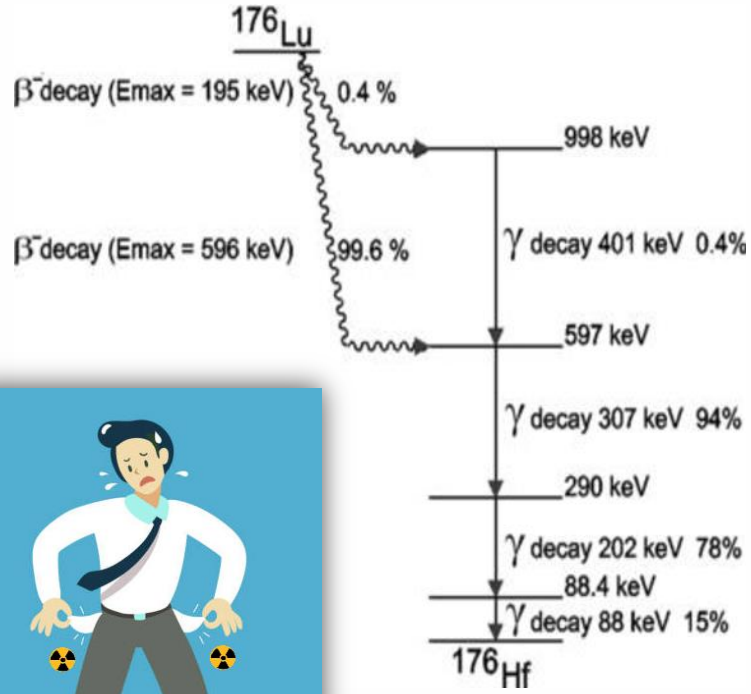


- $^{E}D_1$ érték meghatározása a NAÜ Publikáció szerint.
- $^{E}D_1 = \min \{ {}^{E}A_I, {}^{E}A_{II}, A_C \}$.
- A_C a kritikusságra vonatkozó korlát, ami jelen esetben nem alkalmazható
- Az anyag tömegét is figyelembe kell venni a D-érték meghatározásához.
- ${}^{E}A_I$ = ?
- ${}^{E}A_{II}$ = ?

Zseb-forgatókönyv

- Zseb (Scenario I): árnyékolatlan sugárforrás által okozott lokális károsodás a lágyszövetben
- Hatótávolság alapján a béta-bomlás energiáját vizsgáljuk.
- E_{max} = 596 keV, hozama: 99,6 %
- ${}^{E}A_{I}$ = ?
- A Zseb-forgatókönyv szerinti kiindulási aktivitást (${}^{E}A_{1,I}$) a következő képlet adja:

$$ {}^{E}A_{1,I} = \frac{1}{T_I \times DF_{1,I}^{L+H}} RD_1^{L+H} $$



Zseb-forgatókönyv

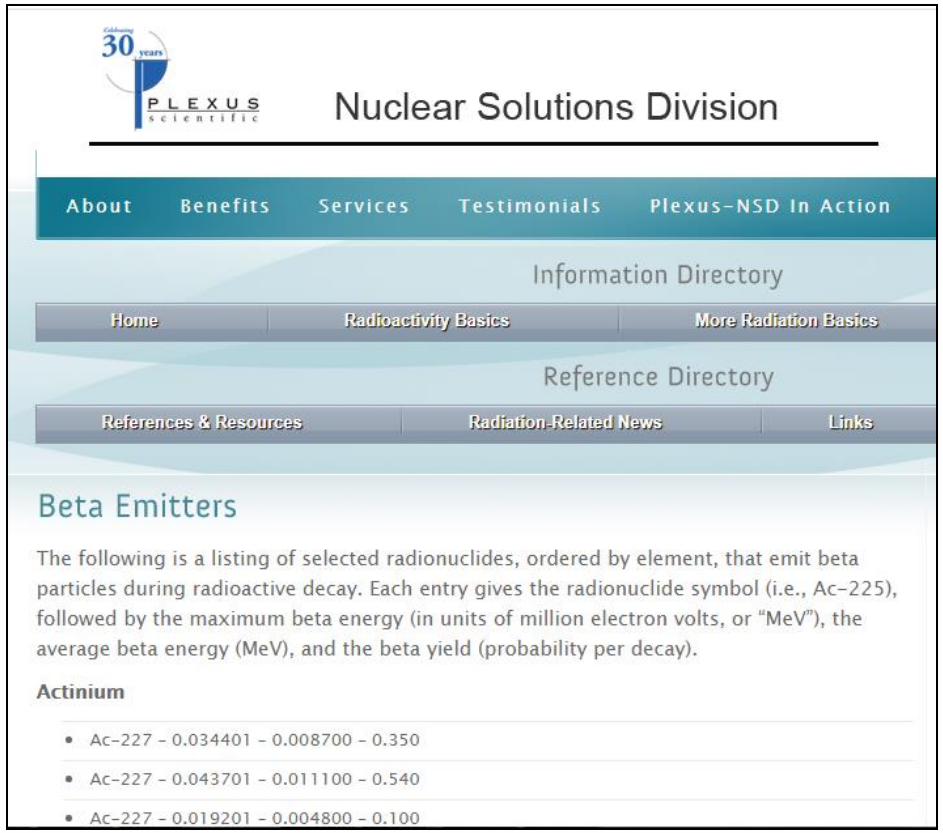
- A Zseb-forgatókönyv szerinti kiindulási aktivitást ($^{E}A_{1,I}$) a következő képlet adja:

$$^{E}A_{1,I} = \frac{1}{T_I \times DF_{1,I}^{L+H}} RD_1^{L+H}$$

  - ahol T_I az I. forgatókönyv szerinti időtartam (10 óra)
  - RD_1^{L+H} a referencia elnyelt dózis (25 Gy), az 1. szövetben (lágyszövet)
  - $DF_{1,I}^{L+H}$ a *dózisteljesítmény-konverziós faktornak* (a Zseb-forgatókönyvnek megfelelő) lágy szövetben való elnyelt dózisra vonatkozó értéke. Ez számértékét tekintve megegyezik a relatív biológiai hatásossággal súlyozott dózisteljesítmény-konverziós faktor értékével (NAÜ Publikáció, 15. táblázat).
- Mivel ilyen értéket a NAÜ Publikáció a Lu-176 radionuklidra vonatkozóan nem tartalmaz, ezért **egy olyan radionuklid ismert *DF dózisteljesítmény-konverziós faktorát* használjuk a számításhoz, amely a Zseb-forgatókönyv szempontjából hasonló tulajdonságokat mutat**: béta-energiája és hozama a Lu-176-éhoz hasonló.

Zseb-forgatókönyv

- E_{max} = 596 keV, hozama: 99,6 %
- Hasonló nuklidok keresése
- http://www.iem-inc.com/information/tools/radiation-energies/beta-emitters
- Megközelítőleg 700 (azonos vagy különböző nuklidtól származó) béta-részecske maximális energiáját és hozamát megvizsgálva a legjobb egyezést a Cd-113m radionuklid mutatta

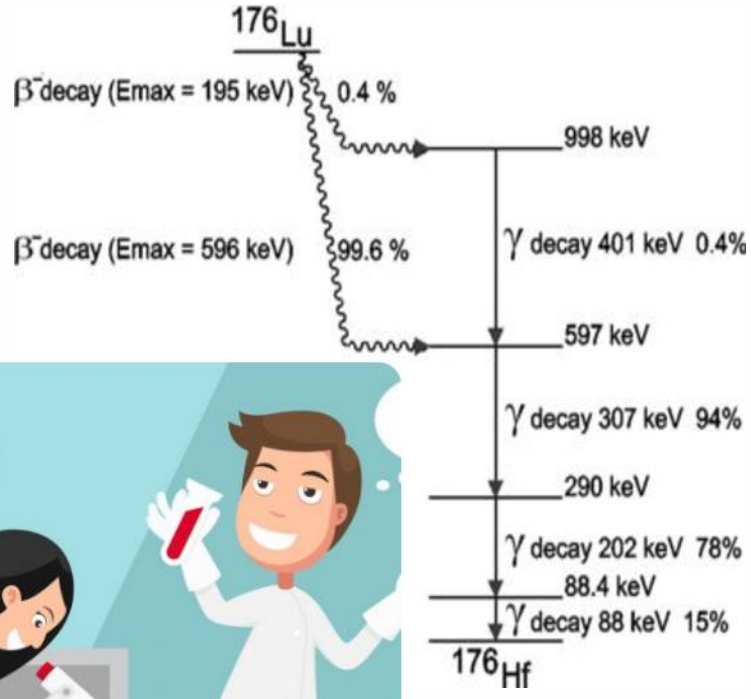


- 585 keV-os maximális béta-energiával és 99%-os relatív bomlási gyakorisággal.
- A Cd-113m radionuklidra a NAÜ Publikációban közölt $DF_{1,I}^{L+H}$ = 1,6*10^{-18} Gy/s/Bq
- ${}^{E}A_{1,I}$ = 4,34·10^{2} TBq

Szoba-forgatókönyv

- Szoba (Scenario II): árnyékolatlan sugárforrás áthatoló sugárzásának terében való tartózkodás napokig, hetekig
- Hatótávolság alapján a kibocsátott gamma-részecskék energiáját vizsgáljuk.
- $E_{\gamma,1}$ = 307 keV, hozama: 94 %
  $E_{\gamma,2}$ = 202 keV, hozama: 78 %
- ${}^{E}A_{II}$ = ?
- A Szoba-forgatókönyv szerinti kiindulási aktivitást (${}^{E}A_{7,II}$) a következő képlet adja:

$$ {}^{E}A_{7,II} = \frac{1}{T_{II} \times DF_{2,II}^{L+H}} RD_{7}^{L+H} $$



Szoba-forgatókönyv

- A Szoba-forgatókönyv szerinti kiindulási aktivitást ($^{E}A_{7,II}$) a következő képlet adja:

$$^{E}A_{7,II} = \frac{1}{T_{II} \times DF_{2,II}^{L+H}} RD_{7}^{L+H}$$

  - ahol T_{II} a II. forgatókönyv szerinti időtartam (100 óra)
  - RD_7^{L+H} a referencia elnyelt dózis (1 Gy) a törzsben (7)
  - $DF_{2,II}^{L+H}$ a *dózisteljesítmény-konverziós faktornak* (a Szoba-forgatókönyvnek megfelelő) vörös csontvelőben (2) való elnyelt dózisra vonatkozó értéke. Ez számértékét tekintve megegyezik a relatív biológiai hatásossággal súlyozott dózisteljesítmény-konverziós faktor értékével (NAÜ Publikáció, 15. táblázat).
- Mivel ilyen értéket a NAÜ Publikáció a Lu-176 radionuklidra vonatkozóan nem tartalmaz, ezért **egy olyan radionuklid ismert *DF dózisteljesítmény-konverziós faktorát* használjuk a számításhoz, ami a Szoba-forgatókönyv szempontjából hasonló tulajdonságokat mutat**: gamma-energiája és hozama a Lu-176-éhoz hasonló.

Szoba-forgatókönyv

- Hasonló nuklidok keresése
- http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/radSearch.asp
- Megközelítőleg 2600 (azonos vagy különböző nuklidtól származó) gamma-részecske energiáját és hozamát vizsgáltuk a kérdéses (307±20) keV-os tartományban
- 51 lehetséges hasonló nuklidot találtunk
- a NAÜ Publikáció 15. táblázata ezek közül csak a Ta-178m radionuklidra közöl *DF*-faktort, $DF_{2,II}^{L+H} = 1{,}4*10^{-17}$ Gy/s/Bq

WWW Table of Radioactive Isotopes

Gamma energy search

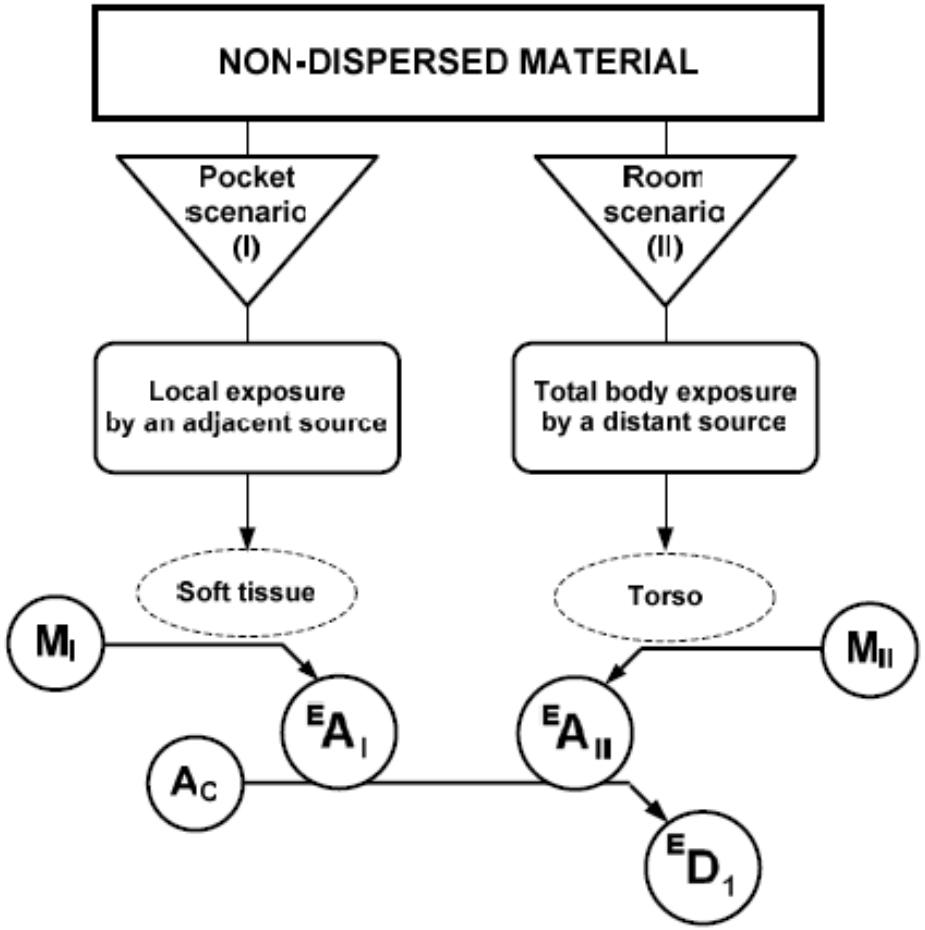
Eγ between 287 and 327 keV;

Eγ (keV)	Iγ (%)	Decay mode	Half life	Parent
287.00 *20*	0.025 *6*	ε+β+	3.98 m *6*	^{158}Tm
287.0 *10*	0.075 *11*	β-	10.18 h *8*	^{93}Y
287.0 *5*	4*	β-	50.3 ms *7*	^{99}Rb
287.0 *2*	33 *4**	β-	0.28 s *3*	^{112}Tc
287.03 *2*	5.4 *4*	β-	4.6 s *1*	^{59}Mn
287.1 *3*	0.0011 *4*	ε+β+	7.70 h *3*	^{166}Tm
287.146 *4*	0.0011 *4*	β-	22.3 m *2*	^{155}Sm
287.160 *22*	2.85 *12*	ε+β+	24.35 m *14*	^{208}Rn
287.16 *5*	3.82 *4*	ε+β+	6.25 h *10*	^{127}Cs
287.160 *19*	171 *9**	β-	1.22 s *2*	^{142}Xe
287.17 *10*	1.84 *17*	β-	56 s *1*	^{148}Ce
287.18 *3*	1.420 *22*	ε+β+	15.2 m *2*	^{69}As
287.2 *20*	0.007 *1*	ε+β+	23.0 m *4*	^{145}Gd
287.30 *20*	0.48 *3*	ε+β+	7.8 m *1*	^{88m}Nb
287.319 *35*	0.0213 *25*	ε+β+	65.28 h *15*	^{71}As

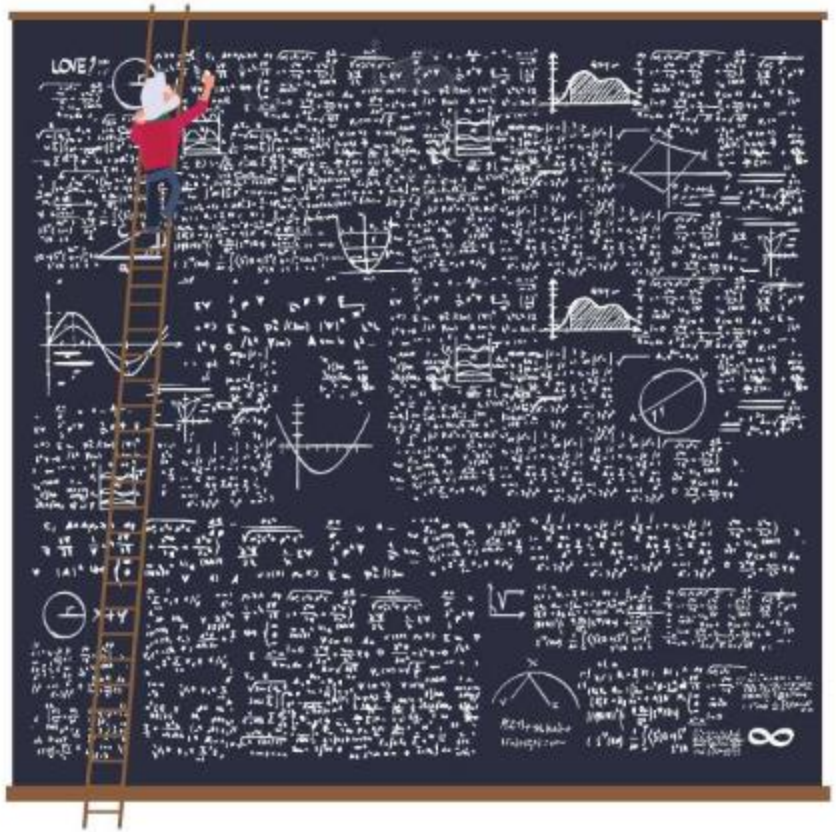
	Lu-176		Ta-178m	
	E (keV)	hozam	*E* (keV)	hozam
γ,1	202	86%	213	81%
γ,2	307	94%	325	94%
γ,3	-	-	426	97%

- ${}^{E}A_{7,II}$ = 0,20 TBq

Lu-176 D-értéke



- $^ED_1 = \min\{ {}^EA_I, {}^EA_{II}, A_C \}$.
- Az anyag tömegét is figyelembe kell venni a D-érték meghatározásához. Ha ugyanis az anyag tömege olyan nagy, hogy nem jelent hihető veszélyforrást, akkor a D-érték javasolt értéke „unlimited”, végtelen.
- $^EA_{1,I}$ = 434 TBq Lu-176 tömege $2{,}2 \cdot 10^{11}$ g, ami meghaladja a 11. táblázatban közölt 500 g tömegkorlátot, tehát ^EA_I értéke végtelen („unlimited”).
- $^EA_{7,II}$ = 0,20 TBq Lu-176 tömege $1{,}0 \cdot 10^{8}$ g, ami meghaladja a 11. táblázatban közölt 10^{6} g tömegkorlátot, tehát $^EA_{II}$ értéke végtelen („unlimited”).
- A Lu-176 D-értéke: $D = {}^ED_1 = \infty$ „unlimited”.



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Lajos Máté – Lajos.Mate@osski.hu

Osváth Szabolcs – Osvath.Szabolcs@osski.hu