

Izotopu pielietojums

Dr. Gunta Kizāne

LU KFI

Izotopu veidi

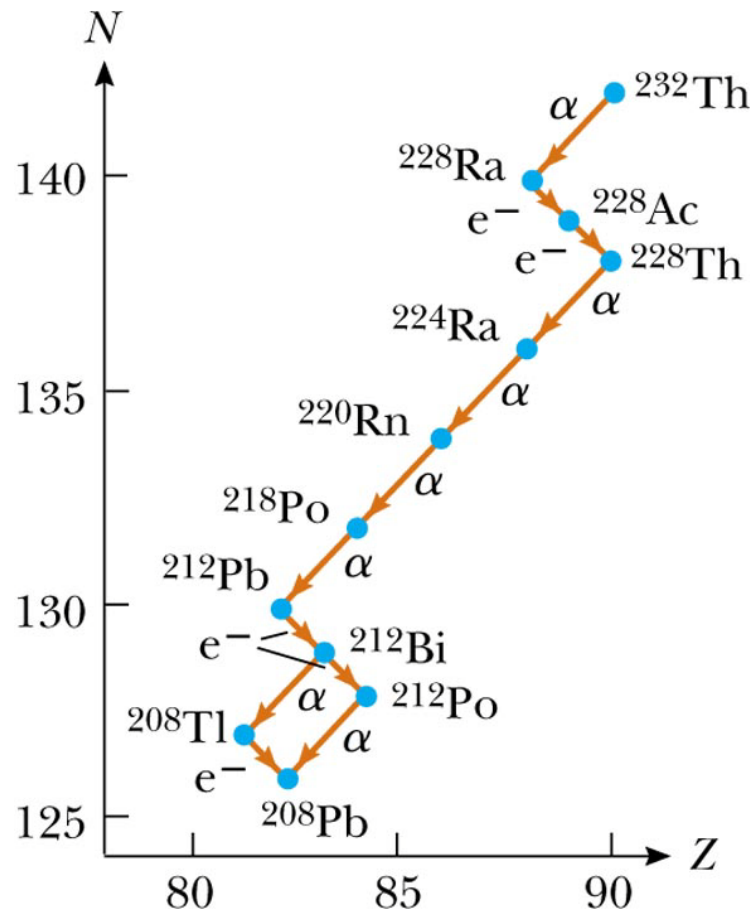
- Dabīgie radioaktīvie atrodami
- visās dzīvās būtnēs (arī cilvēkos!)
- augos ir daži dabīgie radioaktīvie izotopi augsnē
- gaisā

^{40}K gadā vid. cilvēk. ap 170 mikroSv

- Mākslīgie radioaktīvie izotopi – iegūst kodolreakcijās
- Kodolreaktoros
- Jonu vai elektronu paātrinātājos, ciklotronos

Dabīgā radioaktivitāte

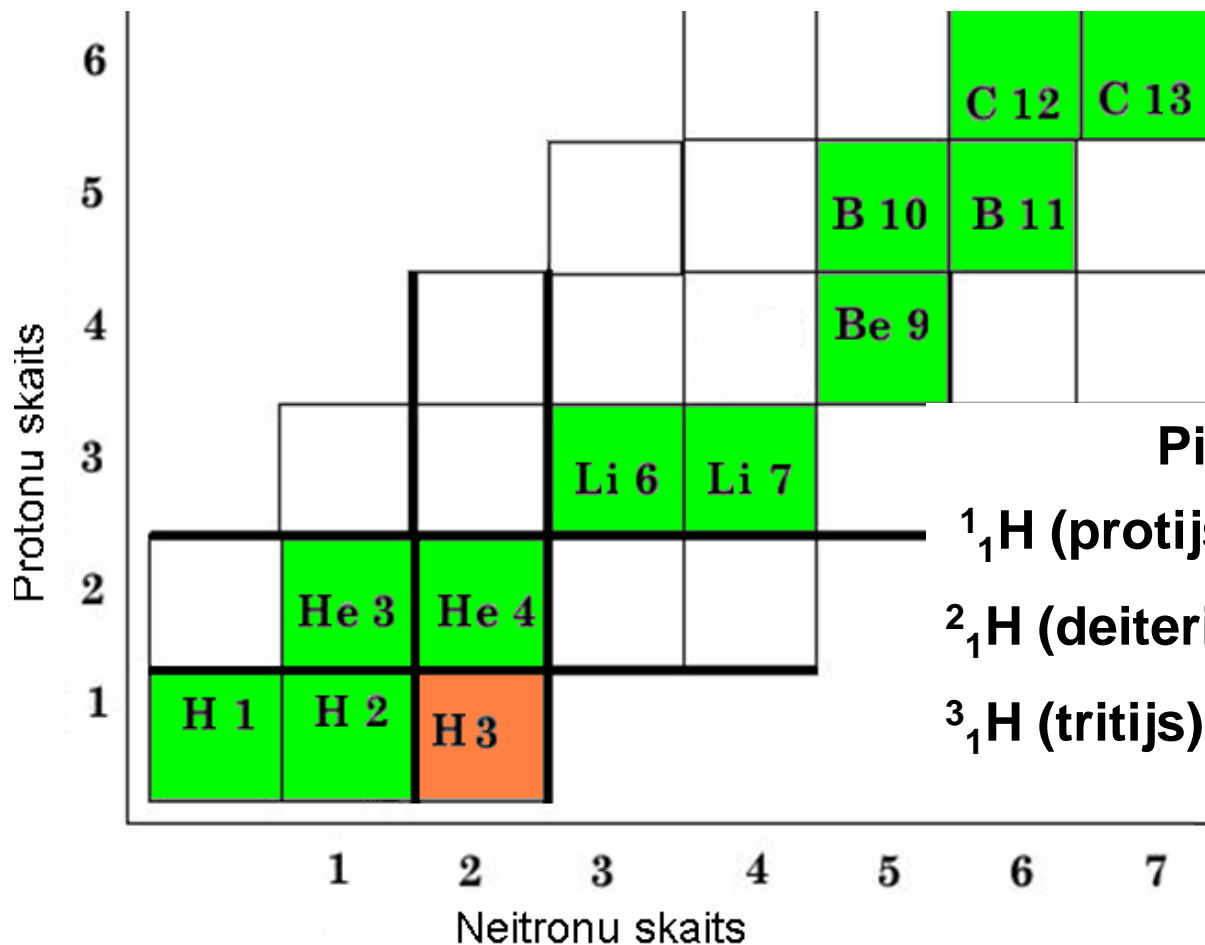
^{40}K , ^{14}C , ^7Be , Th, U



© 2003 Thomson - Brooks Cole

10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Pievieno 1 neitronu – rodas **radioaktīvs izotops**



Piemēri:

^1_1H (protijs) – stabils

^2_1H (deiterijs) – stabils

^3_1H (tritijs) – radioaktīvs

Aktivitāte (radioaktivitāte) (1)

- radioaktivitāte ir vielas fundamentāla īpašība – viela spontāni (patvaļīgi) sabrūk, izstarojot jonizējošo starojumu
- 1896.gadā īpašību atklāja Henri Bekerels
- 1898.gadā M.Kirī ievieš terminu – radioaktivitāte
- Sākotnējā radioaktivitātes mērvienība: Ci (kirī) (novecojusi)
- 1 kirī (Ci) ir aktivitāte, kas piemita 1 g Kirī pāra 1898.gadā atklātajam un vēlāk izolētajam metālam rādiijam

Aktivitāte (radioaktivitāte) (2)

- SI sistēmas mērvienība – bekerels (Bq)
- 1 bekerels (Bq) = 1 sabrukšanas akts vienā sekundē
- 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
- cilvēkā esošais ^{40}K – vidēji 4000 Bq,
 ^{14}C – vidēji 3000 Bq

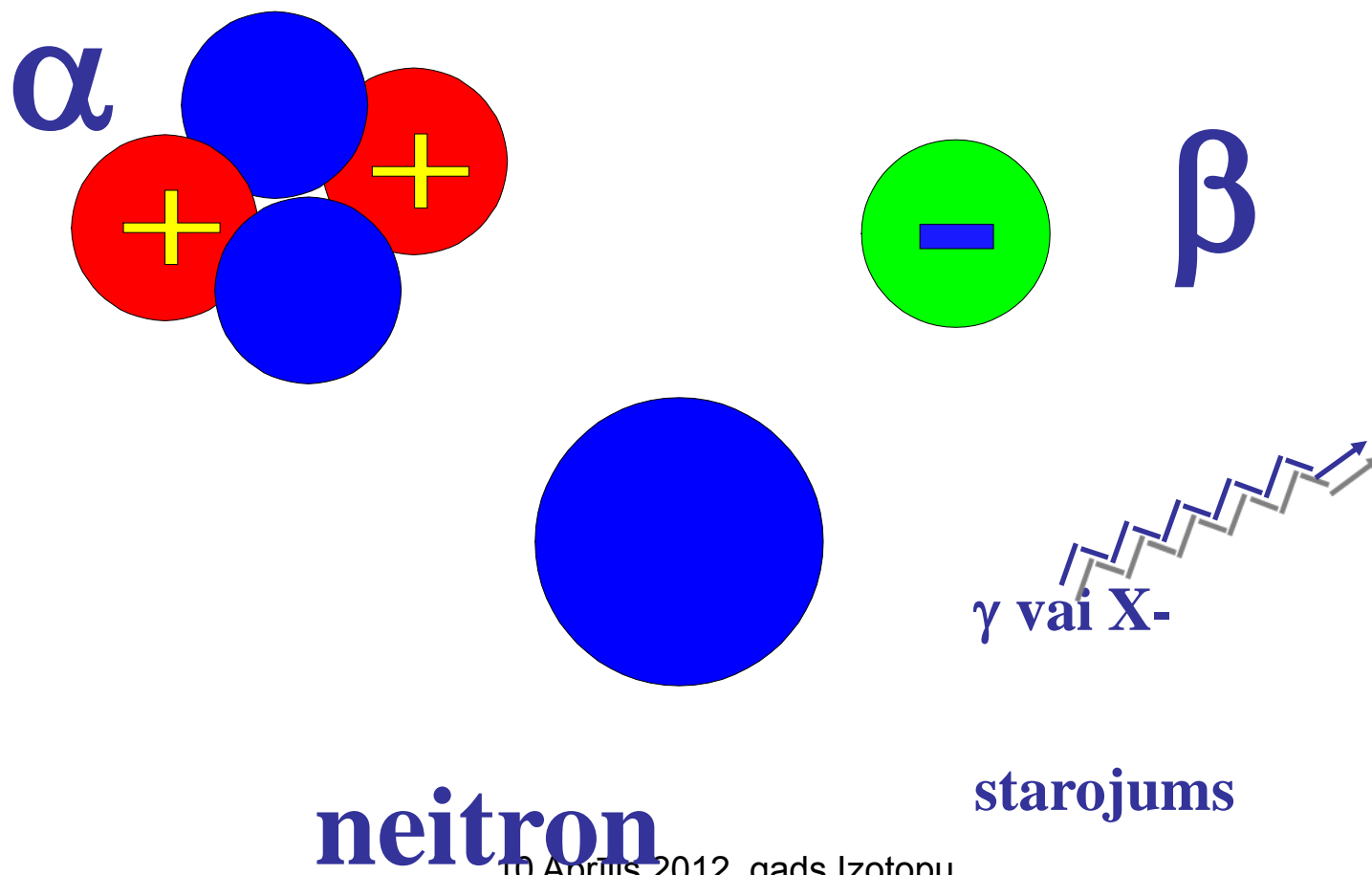
Īpatnējā aktivitāte (3)

- aktivitāte, kas attiecināta uz radioaktīvā izotopa vai tā savienojuma masas, tilpuma vai virsmas vienību
- mērvienība Bq/g - masā
- mērvienība Bq/m³ – tilpumā
- mērvienība Bq/cm² – virsmā

Jonizējošā starojuma veidi

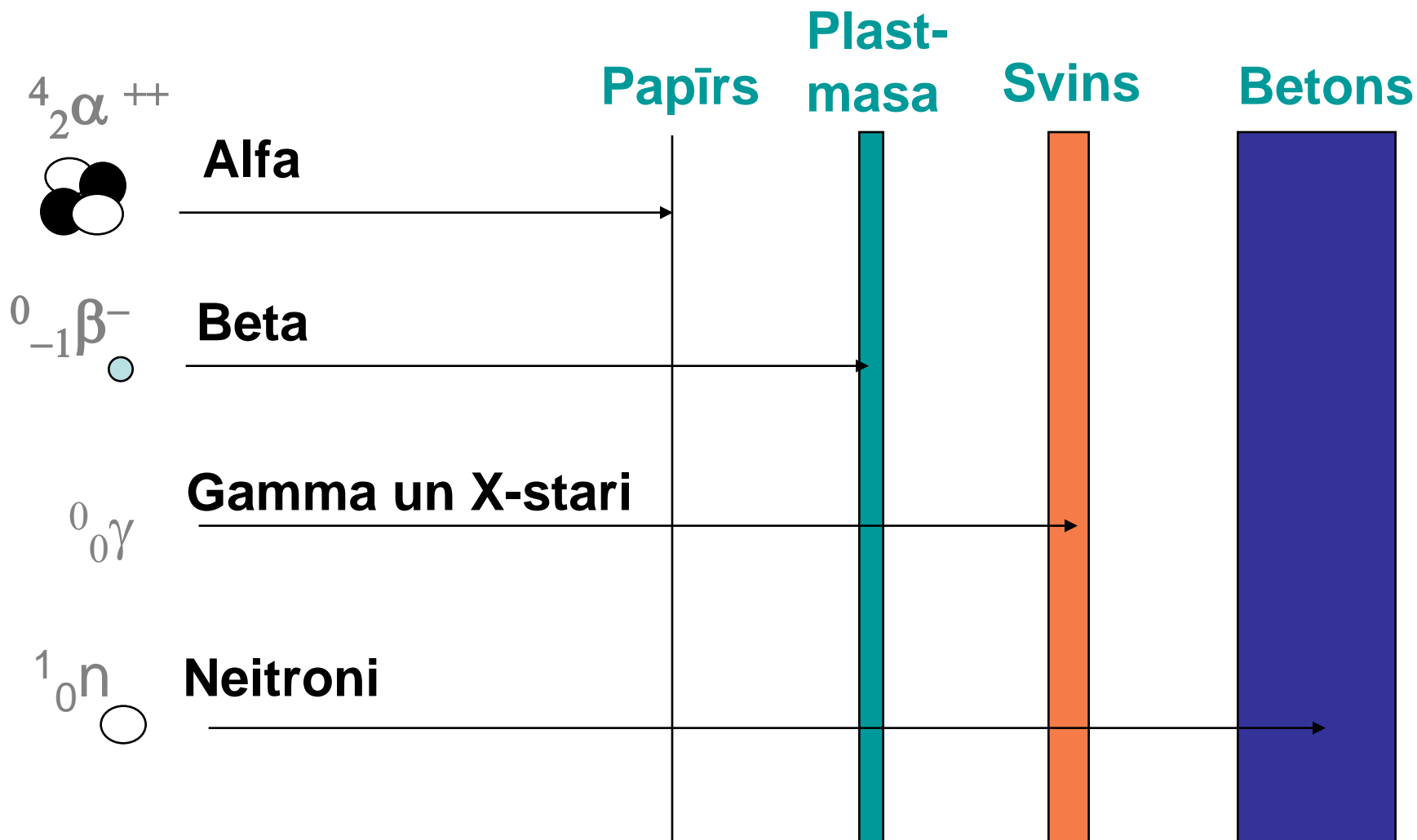
- **korpuskulārais starojums** tā ir daļiņu plūsma:
 - o alfa (α) daļiņas = Hēlija atomu kodoli
 - o beta (β^-) daļiņas = elektroni negatroni)
 - o beta+ (β^+) daļiņas = pozitroni
 - o neitronu (n) starojums
- atkarībā no neitrona enerģijas, izšķir:
 - o “ātros” neitronus,
 - o “lēnos” jeb “siltuma” neitronus
- **elektromagnētiskais starojums**
 - o gamma (γ) starojums
 - o rentgenstarojums

Radioaktīvā sabrukšana ir patvaļīgs process

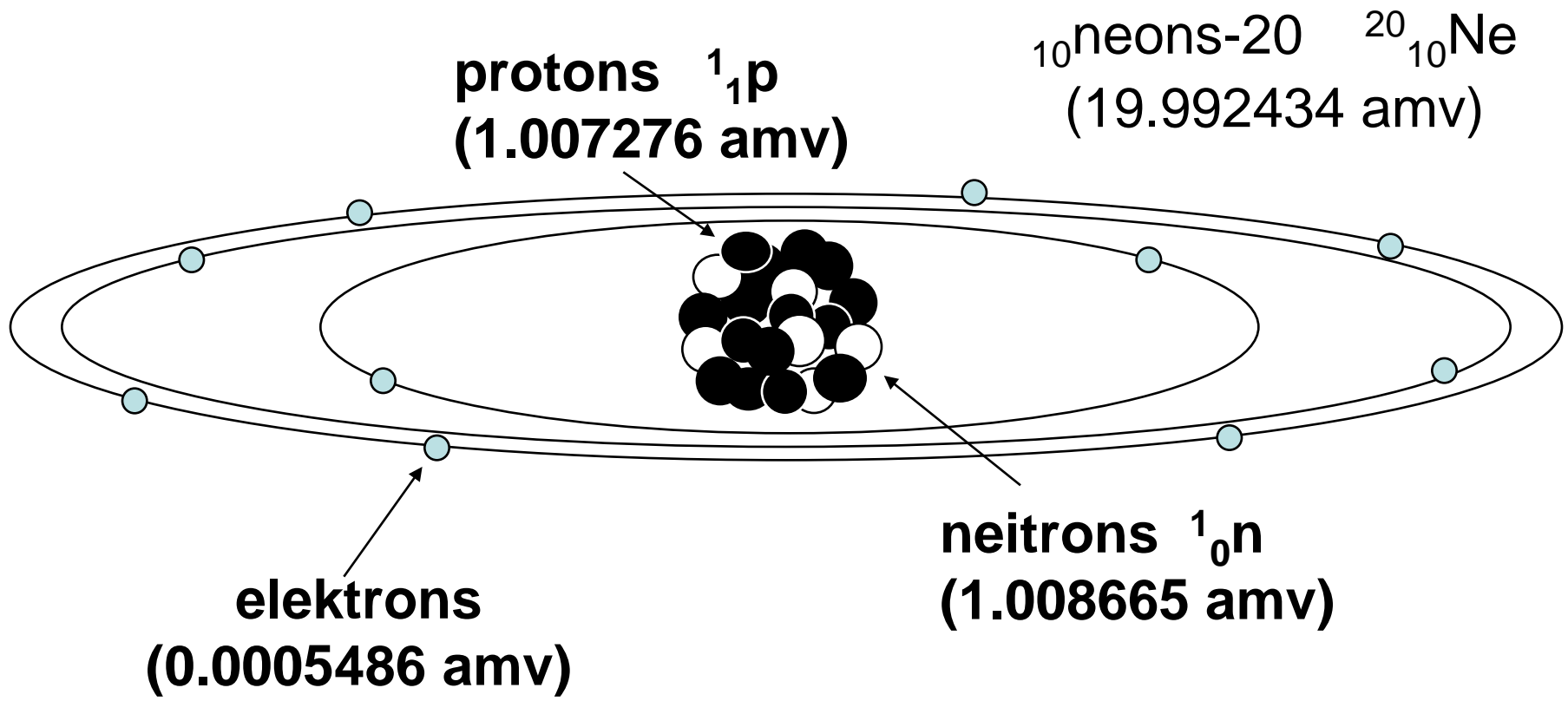


10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Caurspiešanas īpašību salīdzinājums

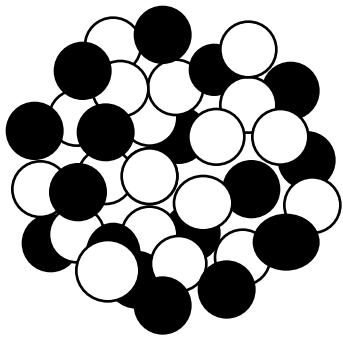


Nuklīds	$T_{1/2}$	E beta, gamma, MeV	Nuklīds	$T_{1/2}$	E beta, gamma, MeV
^3H	12,34 gadi	β 0,0186	^{90}Sr	28,5 gadi	β 0,55
^7Be	53,12 dienas	γ 0,47	^{90}Y	60,1h	β 2,26
^{14}C	5730 gadi	β 0,16	^{131}I	8,02 d	γ 0,364
^{35}S	8,7 dienas	β 0,17	^{137}Cs	30,2 gadi	γ 0,661
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9$ gadi	γ 1,46	^{222}Rn	3,82 d	α 5 MeV
^{58}Co	71,3 dienas	γ 0,836	^{226}Ra	1600 gadi	α 5 MeV
^{60}Co	5,27 gadi	γ 1,17;1,33	^{235}U	$7,0 \cdot 10^8$ gadi	α 5 MeV
^{89}Sr	50,5 dienas	β 1,46	^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ gadi	α 5 MeV



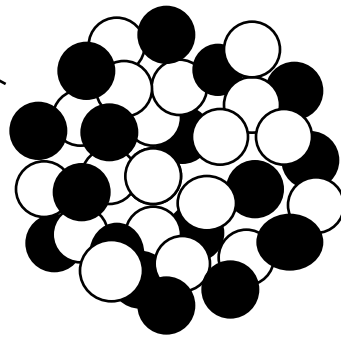
$1 \text{ amv} = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Beta starojums (β)



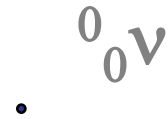
'meitas' nuklīds

76Osmijs-187
20Kalcijs-40

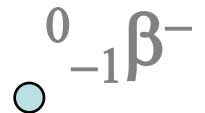


'mātes' nuklīds

75Rēnijs-187
39Kālijs-40

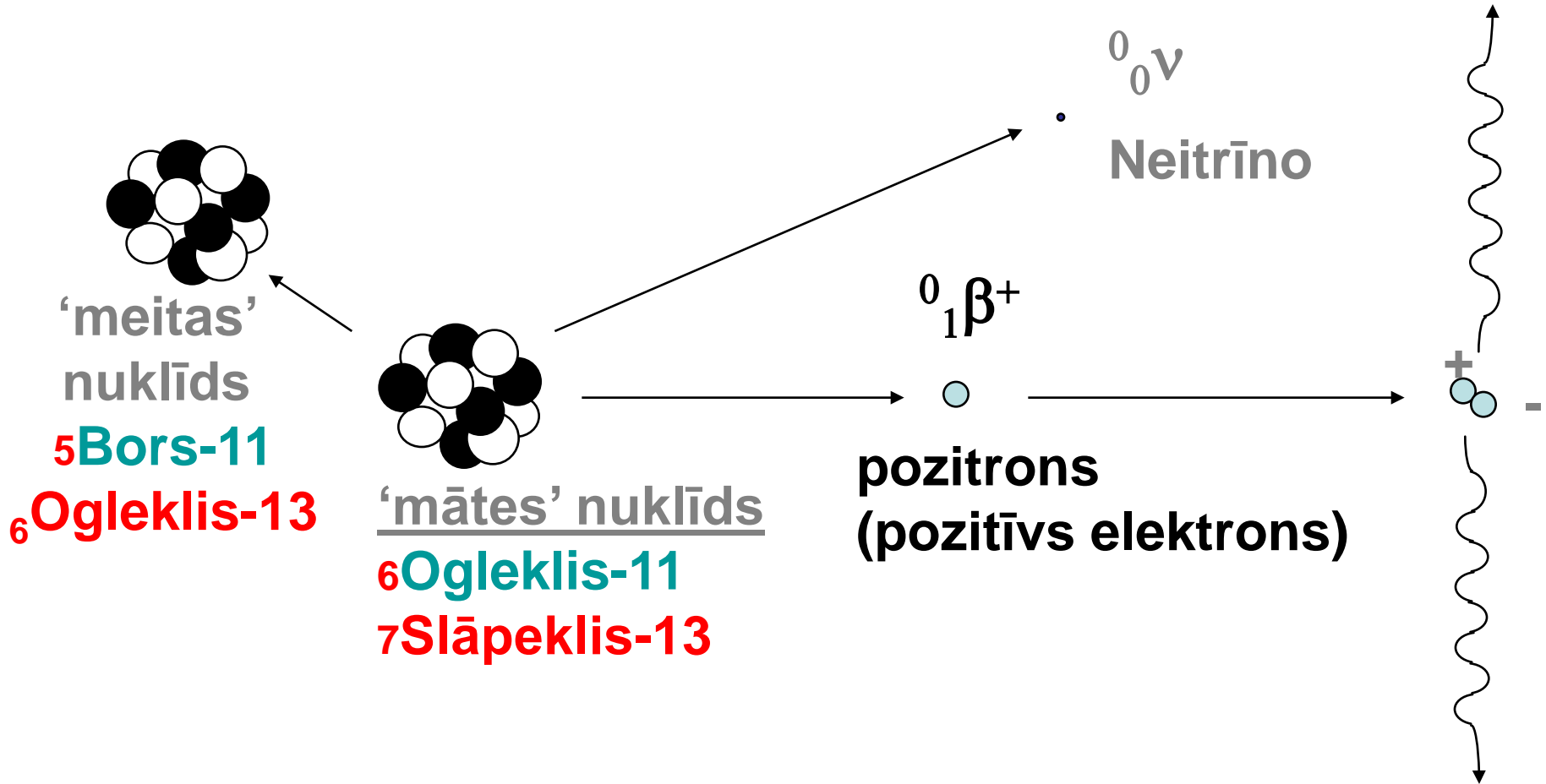


Antineitrīno

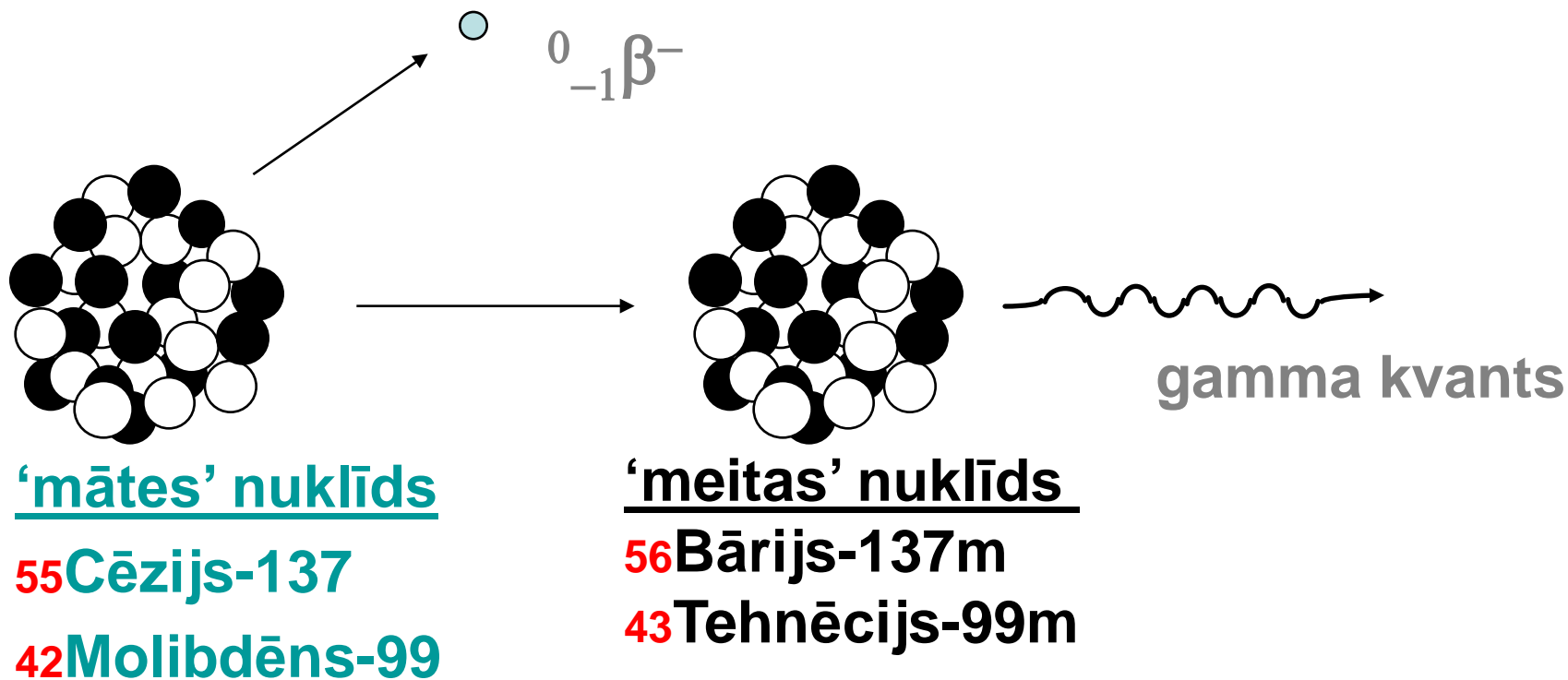


beta daļiņa
(elektrons)

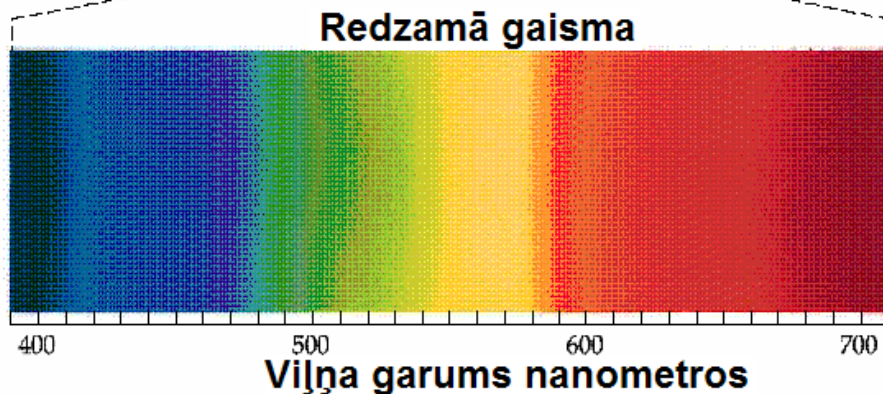
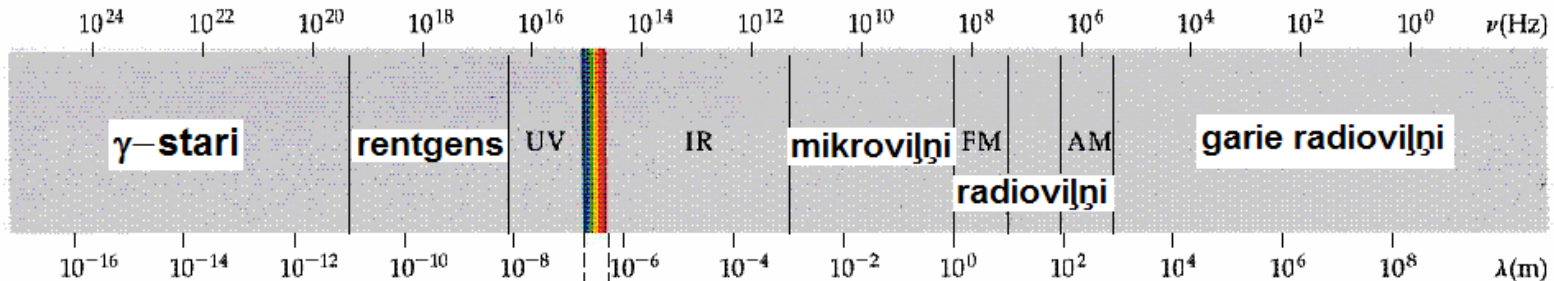
Pozitronu starojums (β^+)



Gamma (γ) starojums



Elektromagnētiskais starojums



fotonu plūsmas enerģiju aprēķina:

$$E \text{ [eV]} = \frac{1239,8}{\lambda \text{ [nm]}}$$

fotona viļņa garums pieaug

fotona enerģija pieaug

Kodolreakcijas

Radioaktīvā izotopa iznākums atkarīgs no

- Daļiņu plūsmas
- Starošanas laika
- Izotopa % sastāva
- Parauga masas
- Pussabrukšanas perioda
- Reakcijas varbūtības (barni)
piem., $Li6 (n, \alpha) H3$ (900 barni)

Apzīmējumi



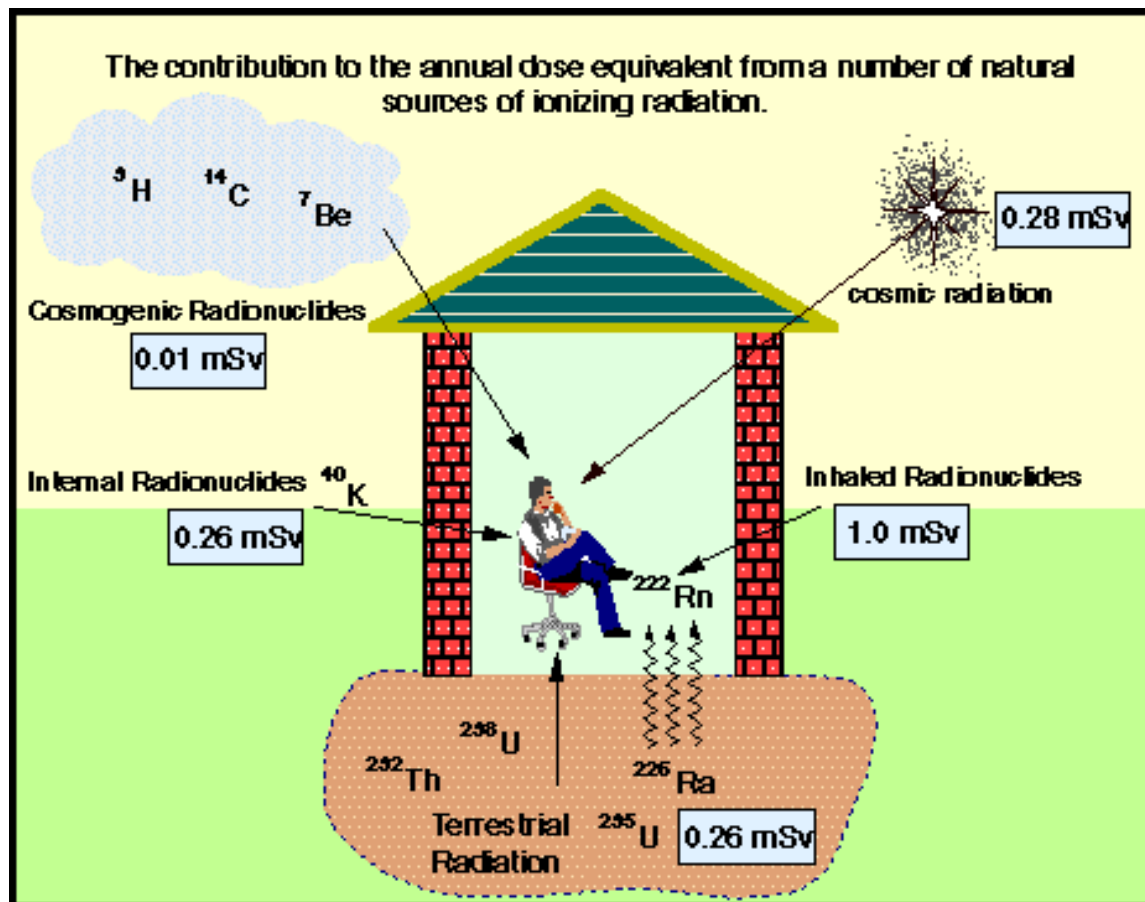
10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Jēdziens par dozu

Ekspozīcijas doza (*exposure*)

Absorbētā doza (*dose*)

- Ekvivalentā
- Efektīvā



10 Aprilis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Absorbētā doza

- raksturo enerģijas daudzumu, kas absorbēties materiālā starojuma iedarbības rezultātā
- SI sistēmas mērvienība:
- džouli kilogramā (J/kg)
- jeb greji (Gy) jeb Zīverti (Sv)

rad (*radiation absorbed dose*), $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$

Starojumu ietekmes faktors (W_R)

Energijas tips un diapazons	W_R
Fotoni (visas enerģijas)	1
Elektroni un mioni (visas enerģijas)	1
Neitroni:	
enerģija, kas ir mazāka par 10 keV	5
enerģija no 10 keV līdz 100 keV	10
enerģija no 100 keV līdz 2 MeV	20
enerģija no 2 MeV līdz 20 MeV	10
enerģija, kas ir lielāka par 20 MeV	5
Protoni (izņemot atlēkušos protonus) - enerģija, kas ir lielāka par 2 MeV	5
Alfa daļiņas, dalīšanās fragmenti, smagie kodoli	20

Audu ietekmes faktors (w_T)

Audi vai orgāns	w_T
Dzimumdziedzeri	0,20
Kaula smadzenes (sarkanās)	0,12
Taisnā zarna	0,12
Plaušas	0,12
Kuņģis	0,12
Piena dziedzeri	0,05
Vairogdziedzeris	0,05
Āda	0,01
Kaulu virsma	0,01

Dozu limiti

Iedzīvotājiem 1 mSv gada laikā

Speciālistiem 20 mSv gada laikā

Dabiskais starojuma fons 2 mSv gadā

$LD_{50/30}$ – 2,5-5,5 Sv

Apstarošanās letālā doza ap 4,5 Sv, ja nav medicīniskas palīdzības

JS reģistrācija

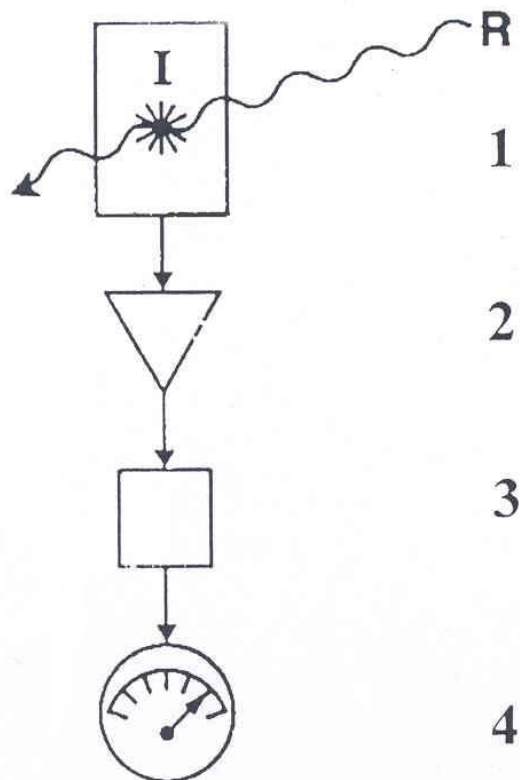
Pamatojas uz **iedarbību** ar vielu:

- jonizācija (primārā, sekundārā);
- ierosināšana;
- elastīgā;
- neelastīgā izkliede

Mēriekārtu **pamattipi**

- stacionāras un pārnēsājamas
- vienkāršas un kombinētas
 - o pēc starojuma veida
 - o pēc mērāmā parametra
- kolektīvas un individuālas

Mēriekārtu pamatsastāvdaļas



- 1. Detektors
- 2. Pastiprinātājs
- 3. Pārveidotājs
- 4. Displejs
- R-radiācija
- I-jonizācija

Detektors

- Satur gaisu, gāzi vai cietvielu, kas absorbē starojuma enerģiju un pārvērš to elektriskā signālā.
- Izplatītākie detektori:
 - o jonizācijas (kameronas, proporcionālie, Geigera - Millera)
 - o Scintilācijas – cietie, šķidrie
 - o Pusvadītāju
 - o Diodes
 - o Attēlu plates

Geigera-Millera skaitītāji



10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Pārveidotājs

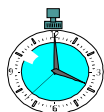
- Ierīce, kas mērī detektora signālu lielumu vai skaitu, vai arī pārvērš iegūtos elektriskos signālus atbilstošās vienībās (Bq, Gy, Sv/h, R/h, imp/s, utt)

Displejs jeb rādītājs

- Digitāla vai analoga ierīce iegūtā rezultāta atveidojumam
 - rādītājbulviņa un skala;
 - displejs;
 - mirgojoša diode vai skaņas tikšņi, kuru frekvence raksturo intensitāti

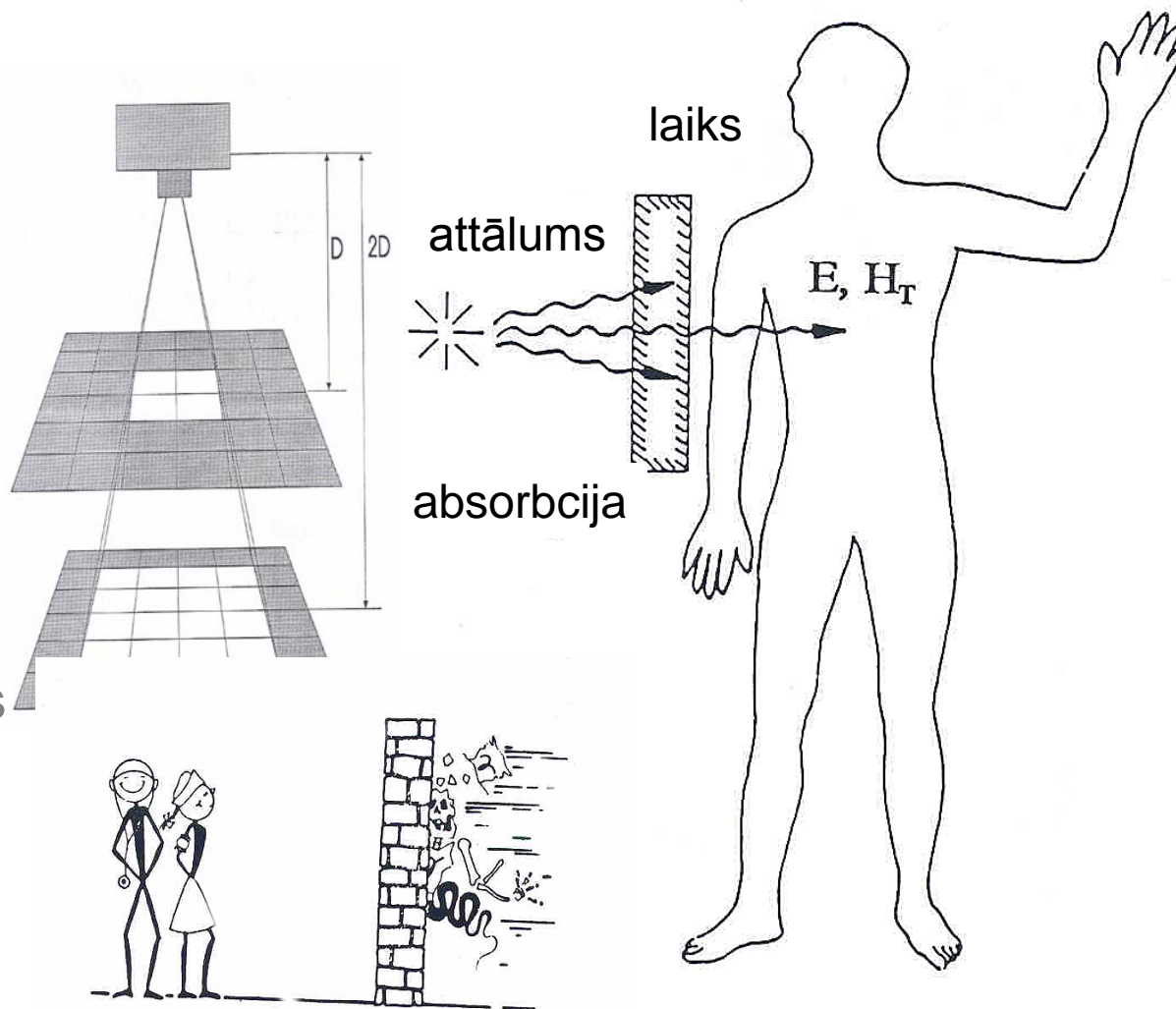
Aizsardzība no JS iedarbības

laiks

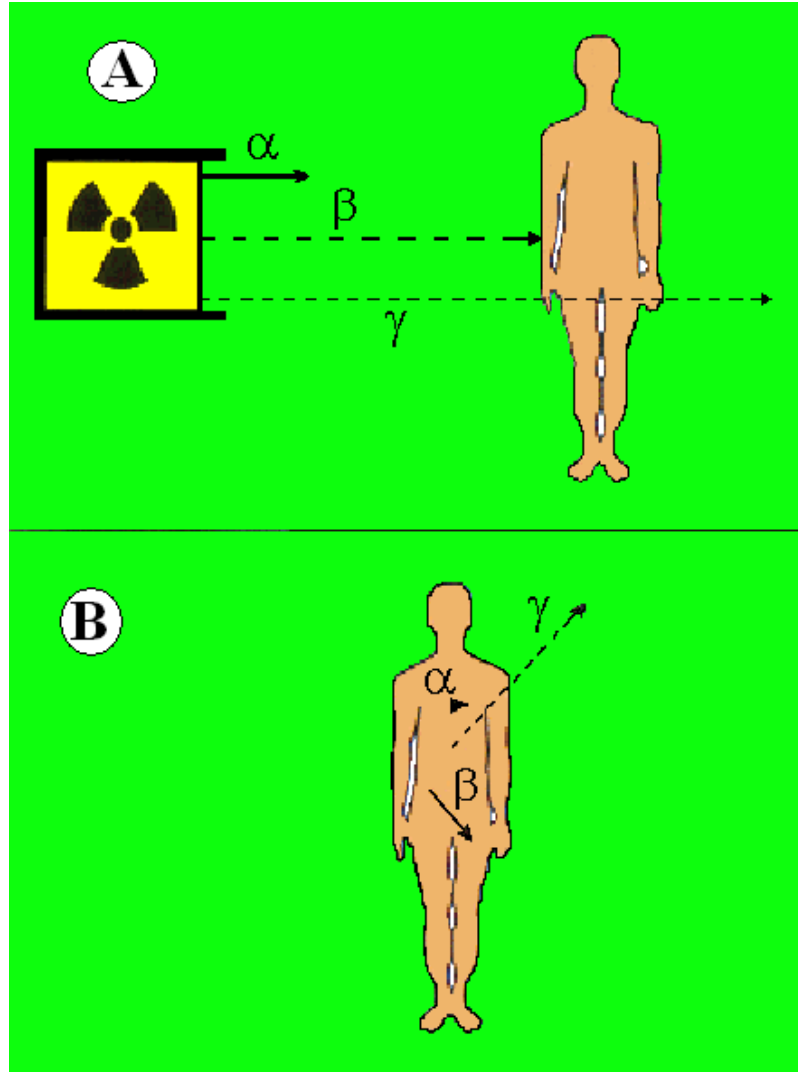


attālums

aizsargmateriāls

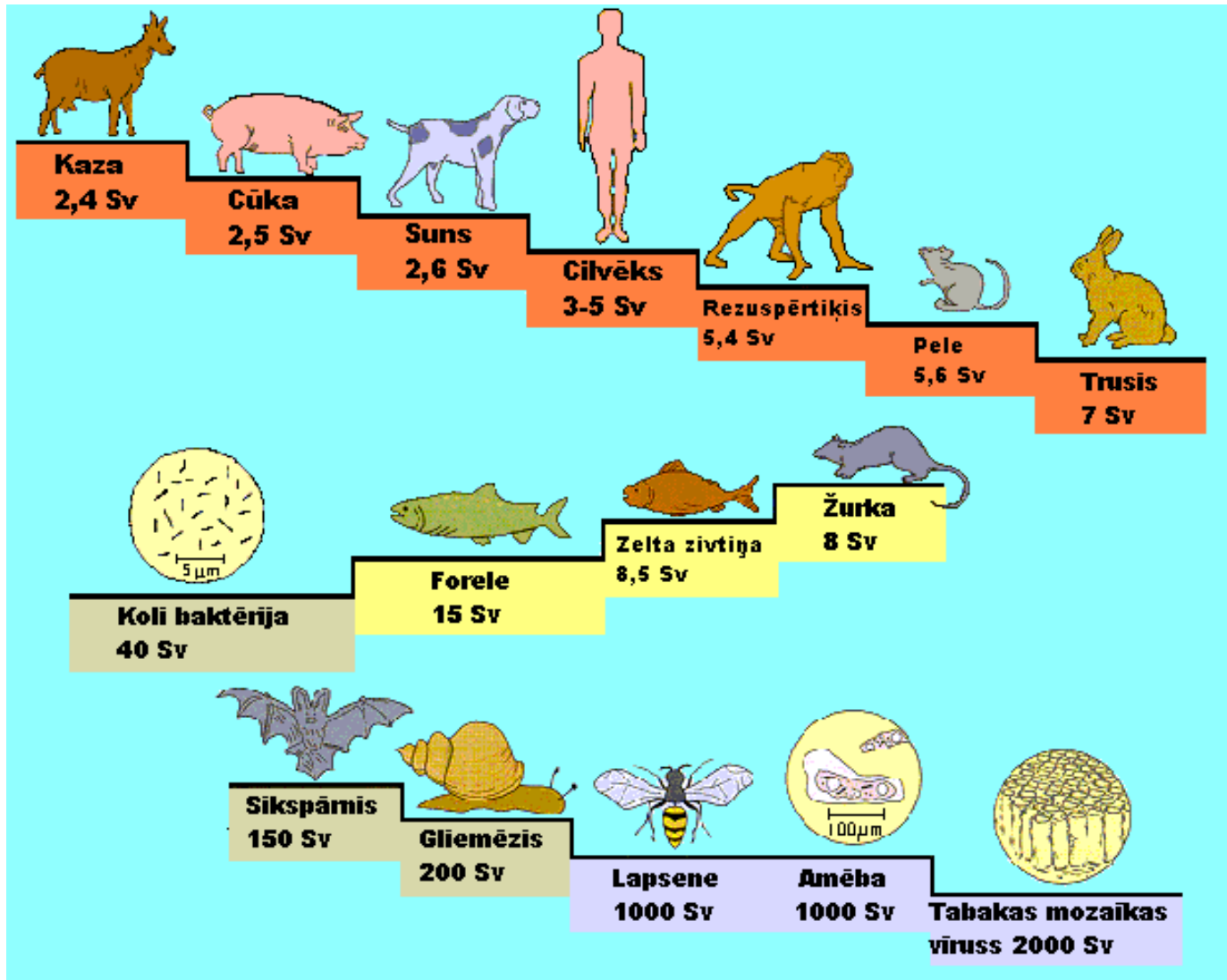


Ārēja un iekšēja apstarošanās



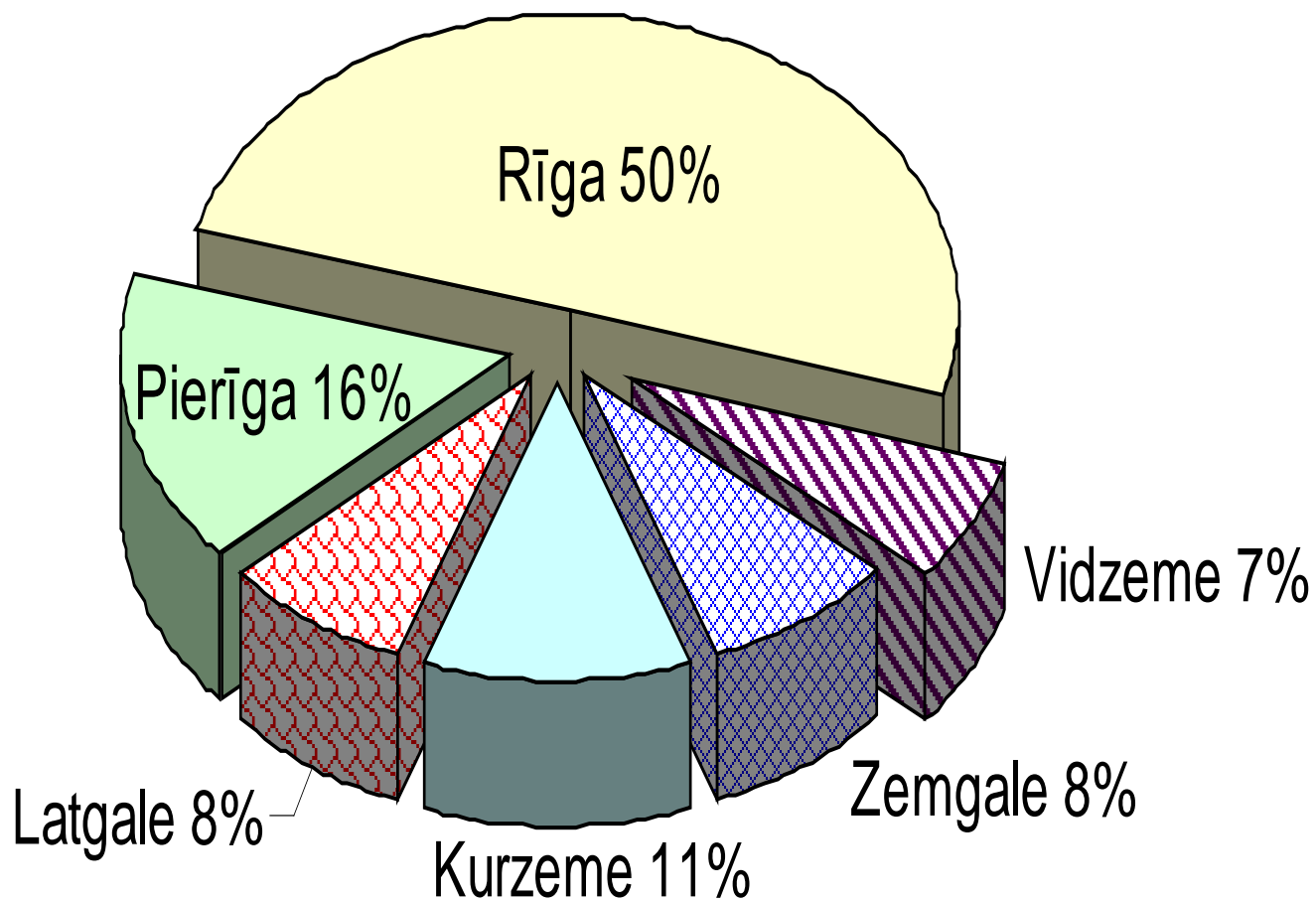
10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Letālās apstarojuma dozas



10 Aprīlis 2012. gads izotopu
pielietojums

Jonizējošā starojuma avotu izmantošana Latvijā



Radioaktīvie materiāli sirds stimulatoros



10 Aprīlis 2012. gads Izotopu pielietojums

Radioaktīvie materiāli gamma terapijas avotos



Slēgts starojuma avots (kapsula) no gamma terapijas iekārtas, ko izmantoto onkoloģisko saslimšanu terapijā. Kapsula satur 1000 Ci ^{60}Co vai ^{137}Cs izotopu.

Slēgtie avoti Latvijā

Vieta		Aktivitāte	Izotops
Rīgas Balzāms	Līmeņradis	1,67 GBq	Cs -137
Latgran. Limbažu siltums	Sķeldas līmeņradis	1,8 GBq	Co-60
Cēsu alus	Līmeņradis	100 MBq	Am 241
Cemex Brocēni	Piesārņojuma detektēšana ciklonā	18 GBq	Cs -137
Papīra rūpniecība	Statiskā lādiņa neitralizācija	74 kBq	Am 241
Medicīnas vajadzībām	Sterilizācija	1,2 GBq	Cs - 137
Latvijas gāze	Mitruma kontrolei	18 GBq	Am -241
Noliktavas	Dūmu detektori	10 MBq	Am -241
Valmieras stikls	Līmeņradis	33,3 GBq	Cs -137

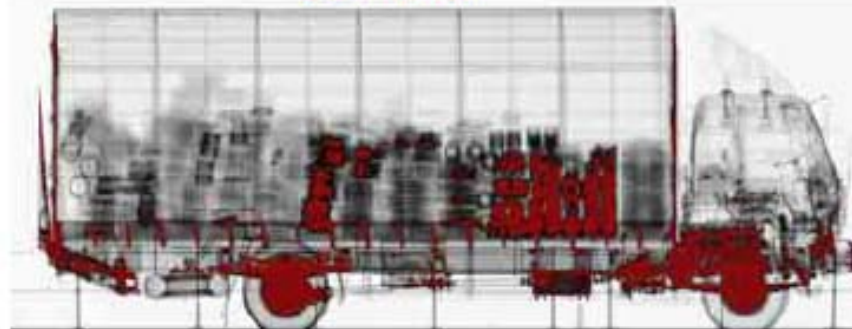
10 Aprīlis 2012. gads Izotopu pielietojums

75 mm



450keV X-Ray System

150 mm



1.3 MeV Gamma-Ray System

270 mm



4 MeV X-Ray System

425 mm



9 MeV X-Ray System

Higher Energy → Higher Penetration → Inspect More Cargo

Rapiscan[®]
systems

An OSI Systems Company

ONE COMPANY - TOTAL SECURITY



32 MeV četrkanālu ciklotrona shēma (plānots Salaspī):

kanālos tiek novirzīti dažādas enerģijas joni noteiktu sintēzes vai analīzes uzdevumu izpildei, piem.:

viens kanāls ar gala aparatūru PET izotopu sintēzei;

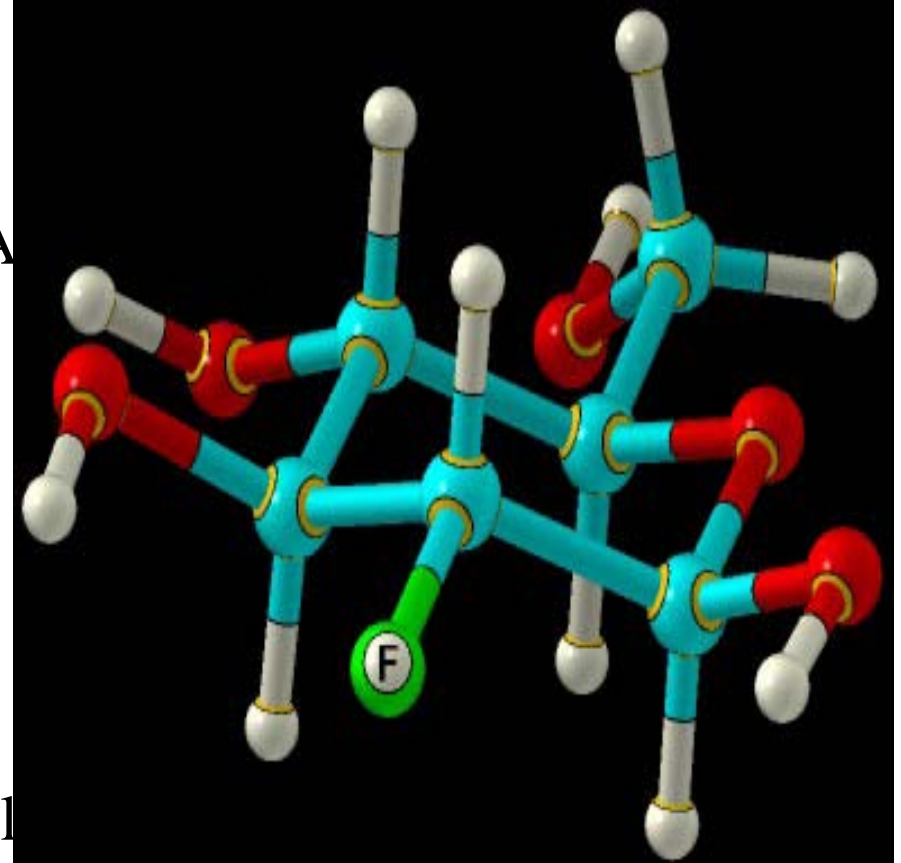
viens kanāls ar gala aparatūru citu (piem., SPECT)

izotopu sintēzei;

viens kanāls protonu mikrolitogrāfijai;

viens kanāls PIXE analīzei

- 2-¹⁸F-FDG to study glucose metabolism
- [¹⁸F]6-FMT and [¹⁸F]6-FDOPA to study dopamine metabolism
- [¹⁸F]6-FDA to study cardiac sympathetic innervation
- ¹³N-ammonia to study blood flow
- ¹¹C-acetate to study myocardial blood flow and metabolism
- ¹⁵O-water for brain activation studies



Dozimetrijas mēraparatūra (2)



Radiometrs ESM FH 40 G-L

Detektorī:

- NaI(Tl) detektors FHZ 502 E
- alfa-beta detektors FHZ 380 AB
- teleskopiskais FH40 TG ar detektoru FHZ612
- neitronu detektors FHT 752 H

Dozimetrijas mēraparatūra (3)



Pārnēsājamais γ – spektrometrs identiFINDER

- radionuklīdu
(γ emiteru) identifikācija
- dozas jaudas noteikšana

Dozimetrijas mēraparatūra



Pārvietojamais ORTEC HP Ge detektors

- radionuklīdu
(γ emiteru)
identifikācija

Mērierīces uzbūve:

- detektors
- daudzkanālu
analizators
CANBERRA





10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Latvijas Onkoloģijas centrs

Iekārtas

- 5 elektronu paātrinātāji;
- 2 konpjūtertomogrāfi;
- 1 Simulator;
- 1 Brachytherapy equipment;
- 20 Treatment Planning workstations.



Termoluminiscentais dozimetrs (TLD)



Nokomplektēts TLD
dozimetrs
(augšējais attēls)

TLD dozimetra
sastāvdaļas (apakšējais
attēls):

- numurētais slaidis
- TLD korpuss
- slaida turētājs ar filtriem
- filtri



Papildus slaidi

10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Radiācijas avāriju piemēri

VII	Černobiļas AES reaktorā (PSRS), 1986
VI	Kištimas kodoldegvielas pārstrādes rūpnīcā (PSRS), 1957
V	Vindskeilas reaktorā (Lielbritānija), 1957
V	Trīs jūdžu sala reaktorā (ASV), 1979
IV	Vindskeilas kodoldegvielas pārstrādes rūpnīcā (Lielbritānija), 1973
IV	Buenosairesā kritiskā iekārtā RA-2, (Argentīna), 1989
III	Vandelosas AES (Spānija), 1989

10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Pieļaujamie piesārņojuma līmeņi pārtikā

Radionuklīds	Pieļaujamais piesārņojums, kBq/kg	
	Pārtika vispārējam patēriņam	Piens, bērnu pārtika, dzeramais ūdens
^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{89}Sr	1	1
^{131}I	0,5	0,1
^{90}Sr	0,1	0,075
^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu	0,01	0,001

137 Cs +90 Sr

Vieta	Aktivitāte Bq*10 ¹⁵	Vieta	Aktivitāte Bq*10 ¹⁵
Karačai ezers	4400	kopā “Majaks”	8900
Rezervuārs 17	74	Atombumb u sprādz.	1550
Negadījumi	0,007	Černobiļa	70
Rezervuārs 2-4, 10, 11	10,5	Selafilde	47

Jonizejošais starojums
bioloģijā

10 Aprīlis 2012. gads Izotopu
pielietojums

Kopējā efekt. doza (Sv) uzņemot ar pārtiku vai ūdeni 1 Bq radioaktīvo vielu

Izotops	T 1/2	cik Sv dod 1 bekerels gadā
T(3H) T ₂ O	12,3 gadi	1,8 10 ⁻¹¹
T organiski saistītais		4,2 10 ⁻¹¹
C ¹⁴	5730 gadi	5,8 10 ⁻¹⁰
Na ²⁴	15 stundas	3,2 10 ⁻⁹
P ³²	14, 3 dienas	2,4 10 ⁻⁹
Co ⁶⁰	5,27 gadi	3,4 10 ⁻⁹
Sr ⁹⁰	29,1	2,8 10 ⁻⁸
Tc ^{99m}	6,02 stundas	2,2 10 ⁻¹¹
Cs ¹³⁷	30,0 gadi	1,3 10 ⁻⁸
Po ²¹⁰	138 dienas	2,4 10 ⁻⁷
Th ²³²	1,4 10 ¹⁰ gadi	2,2 10 ⁻⁷
U ²³⁵	4,7 10 ⁹ gadi	4,6 10 ⁻⁸
Pu ²³⁹	2,41 10 ⁴ gadi	2,5 10 ⁻⁷

Slēgtie avoti Latvijā

Vieta		Aktivitāte	Izotops
Rīgas Balzāms	Līmeņradis	1,67 GBq	Cs -137
Latgran. Limbažu siltums	Sķeldas līmeņradis	1,8 GBq	Co-60
Cēsu alus	Līmeņradis	100 MBq	Am 241
Cemex Brocēni	Piesārņojuma detektēšana ciklonā	18 GBq	Cs -137
Papīra rūpniecība	Statiskā lādiņa neitralizācija	74 kBq	Am 241
Medicīnas vajadzībām	Sterilizācija	1,2 GBq	Cs - 137
Latvijas gāze	Mitruma kontrolei	18 GBq	Am -241
Noliktavas	Dūmu detektori	10 MBq	Am -241
Valmieras stikls	Līmeņradis	33,3 GBq	Cs -137

10 Aprīlis 2012. gads Izotopu pielietojums

transporta iepakojuma marķējums

