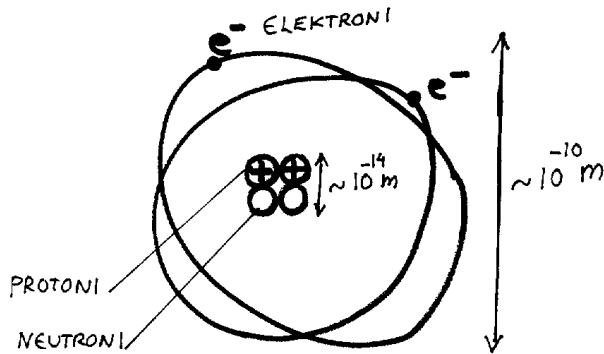


# SÄTEILY

## YTIMET JA RADIOAKTIIVISUUS

### ATOMI

- atomin halkaisija  $\sim 10^{-10}$  m
- ytimen halkaisija  $\sim 10^{-14}$  m



### ATOMIN OSAT:

- 1) YDIN
  - protoneja (p) ja neutroneja (n)
- 2) ELEKTRONIVERHO
  - elektroneja (e<sup>-</sup>)

- protonit ja neutronit ovat NUKLEONEJA
- protonit ja neutronit koostuvat kvarkeista (MAOL s.115-116)

Z = VARAUSLUKU eli JÄRJESTYSLUKU (= protoniluku)

N = NEUTRONILUKU

A = NUKLEONILUKU; A = N + Z (= neutr. lkm + prot. lkm)

### YDIN = NUKLIDI

YTIMEN X MERKINTÄ:  ${}^A_Z X$  ( ${}^A_Z X_N$ )

- Esim.  ${}^{235}_{92} \text{U}$  on uraani-235 isotooppi, jossa on
- 92 protonia,
  - 235-92 = 143 neutronia (92 elektronia)



PROTONI



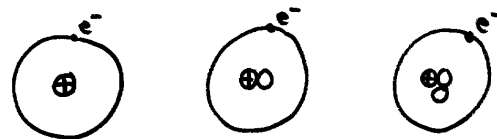
NEUTRONI

IONI = atomi, jossa on elektroneja yli- tai alimäärä.

### ISOTOOPPI

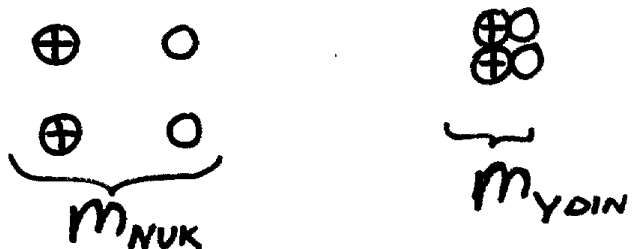
= SAMAN ALKUAINEEN ERIMASSAINEN ATOMI (neutronien lkm vaihtelee)

- esim. vedyn isotoopit:  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$
- (ks. MAOL s. 104-114)



YTIMEN MUODOSTUESSA VAPAUTUU ENERGIAA (syntyy massavaje  $\Delta m$ )

Massavaje eli massakato:  $m_{\text{ydin}} < m_{\text{nuk}}$   
 $\Delta m = m_{\text{nuk}} - m_{\text{ydin}} > 0$

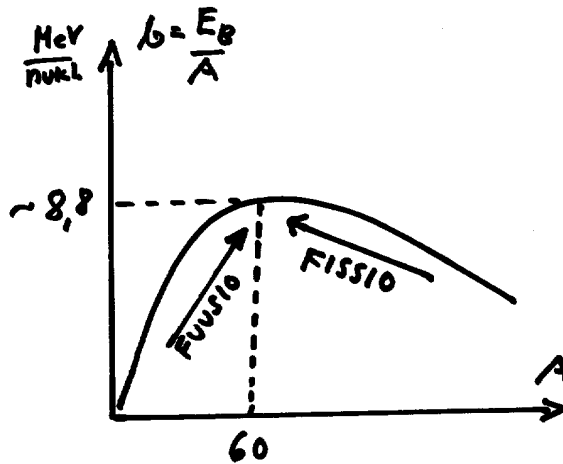


SIDOSENERGIA  $E_B = \Delta m \cdot c^2$

= YTIMEN HAJOTTAMISEEN TARVITTAVA ENERGIA

SIDOSOSUUS  $b = \frac{E_B}{A}$

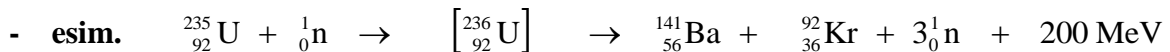
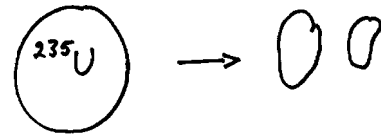
= SIDOSENERGIA NUKLEONIA KOHTI  
- suurin keskiraskailla ytimillä



YDINENERGIAN VAPAUTTAMINEN:

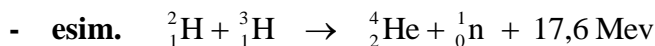
1) FISSIO

- RASKAS YDIN HALKEAA (keskiraskaiksi ytimiksi)



2) FUUSIO

- KEVYET YTIMET YHTYVÄT (raskaammiksi ytimiksi)  
- tähdissä



Fysikaalinen perusta ydinenergian vapauttamiselle:

KUMMASSAKIN REAKTIOSSA SIDOSOSUUS KASVAA (SIDOKSET VAHVISTUVAT)  
⇒ ENERGIAA VAPAUTUU;  $E_B = \Delta m \cdot c^2$

RADIOAKTIIVISUUS = ATOMIYTIMIEN HAJOAMISTA

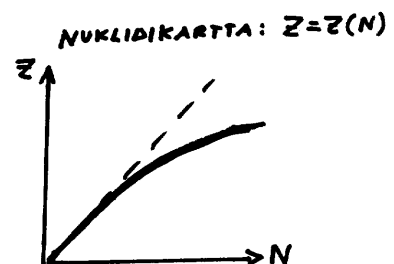
- radioaktiivinen ydin hajoaa muuttuen toiseksi alkuaineeksi lähettämällä säteilyä
- usein pitkiä hajoamisketjuja ja eri hajoamistapoja
- ydinreaktioissa Z ja A säilyvät (lisäksi myös mm. Q, E, p ja L)

YDIN HAJOAA → hiukkasia + yleensä säteilyä

- kolme radioaktiivista hajoamissarjaa, jotka päätyvät pysyviin lyijyisotooppiin:

- a) toriumsarja (Th-232 → ..... → Pb-208)
- b) uraanisarja (U-238 → ..... → Pb-206)
- c) aktiniumsarja (U-235 → ..... → Pb-207)

- kevyet ytimet:  $N \sim Z$
- raskaat ytimet:  $N > Z$



ks. radioaktiivinen hajoaminen: musta MAOL s. 116!

## SÄTEILYN JAOTTELUA:

### SÄTEILYLAJIT:

- **sähkömagneettinen säteily** (aallonpituus:  $10^{-13}\text{m} - 10^4\text{m}$ , ks. MAOL s. 88)
- **hiukkassäteily** (MAOL s. 103-114)

### SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY

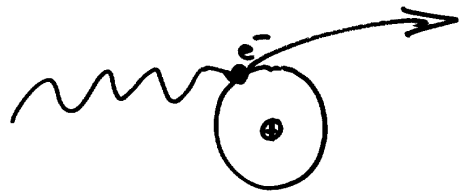
- gammasäteily
- röntgensäteily
- UV-säteily (ultraviolettisäteily; UV-A, UV-B, UV-C)
- näkyvä valo (380 – 760 nm)
- infrapunasäteily (lämpösäteily)
- radioaallot (mikroaallot, tutka, ULA, LA, KA, PA)

### HIUKKASSÄTEILY:

- alfasäteily ( $\alpha$ )
- beetasäteily ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$ )
- neutronisäteily (n)

### IONISOIVA SÄTEILY

- synnyttää ioneja kohtaamassaan aineessa
- ionisointikyky riippuu säteilyn energiasta
- esim. alfa- ja beetasäteily, neutronisäteily (välillisesti), lyhytaaltainen röntgensäteily, gammasäteily,



### IONISOIMATON SÄTEILY

- säteilyn energia ei riitä ionisoimaan aineen atomeja
- esim. radioaallot, IP-säteily, valo, UV-säteily

### a) LUONNON SÄTEILY

- maaperästä (radon, uraani)
- avaruudesta (kosminen säteily)
- kehon radioaktiivisista aineista

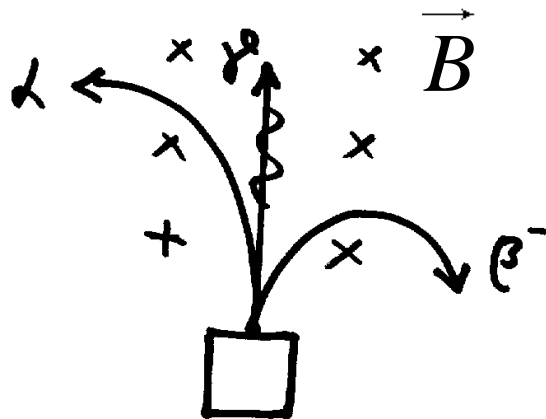
### b) KEINOTEKOINEN SÄTEILY

### RADIOAKTIIVISEN SÄTEILYN LAJIT

- **alfasäteily** ( $\alpha$ )
- **beetasäteily** ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$ )
- neutronisäteily (n)
- **gammasäteily** ( $\gamma$ )

H. Becquerel v. 1896:

- radioaktiivisen säteilyn lajit ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) erottuvat magneettikentässä ( $\vec{B}$ ) toisistaan



## 1) ALFASÄTEILY

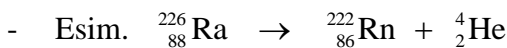
- hiukkassäteilyä
- atomiydin lähettää alfahiukkasia eli heliumatomien ytimiä ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ )



**$\alpha$ -hiukkanen eli  ${}^4_2\text{He}^{2+}$**

- 2 protonia
- 2 neutronia

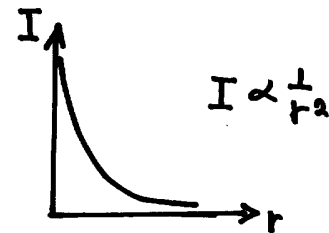
- yleinen reaktio:  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$   
(emoydin  $\rightarrow$  tytärudin + alfahiukkanen)
- Huom! A ja Z säilyvät!



virt. MAOL s. 104-114.

### ALFASÄTEILYN OMINAISUUKSIA:

- energia: 2 -10 MeV
- lyhyt kantama ilmassa muutamia cm:jä (~ 6 cm)
- pysähtyy paperiarkkiin ( $\varnothing$  0,1 mm), vaatteisiin ja ihon pintakerrokseen
- ionisoi voimakkaasti
- $\rightarrow$  heikoin läpitunkevuus (suuri massa ja varaus)
- vaarallista, jos pääsee kehoon sisälle ravinnon tai hengitysilman mukana tai avohaavan kautta
- SUOJAUTUMINEN: - etäisyys,
  - esim. pahvilevy- tai kangassuoja
  - puhtaus, lyhyt altistumisaika
  - annostarkkailu, suodattimet, ilmastointi
  - elintarvikkeiden varastointi ja suojaus



## 2) BEETASÄTEILY

- hiukkassäteilyä ( $e^-$ ,  $e^+$ )

### a) $\beta^-$ -säteily $e^-$

- ydin lähettää elektroneja ( $e^-$ )
- ytimessä neutroni hajoaa protoniksi, elektroniksi ja antineutriinoksi:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$
- yleinen reaktio:  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}$   
(emoydin  $\rightarrow$  tytärudin + elektroni + antineutriino)
- Huom! A ja Z säilyvät!
- luonnossa
- Esim.  ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}$

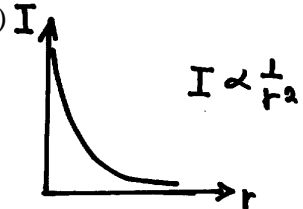
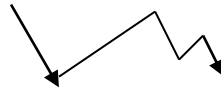
virt. MAOL s. 104-114.

### b) $\beta^+$ -säteily $e^+$

- ydin lähettää positroneja (elektronin vastahiukkasia  $e^+$ )
- ytimessä protoni hajoaa neutroniksi, positroniksi ja neutriinoksi:  $p \rightarrow n + e^+ + \nu$
- yleinen reaktio:  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$   
(emoydin  $\rightarrow$  tytärudin + positroni + neutriino)
- Huom! A ja Z säilyvät!
- keinotekoinen radioaktiivisuus
- Esim.  ${}^{26}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{26}_{12}\text{Mg} + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$
- virt. MAOL s. 104-114.

### BEETASÄTEILYN OMINAISUUKSIA:

- energia: ~1 MeV, siks-sak -rata (törmäyksiä,  $\beta^-$ )
- kantama, ilmassa muutamia metrejä
- pysähtyy metallilevyyn (kevyt metalli, esim. Al,  $\varnothing \sim 1$  mm), muoviin (paksuus muutama mm), lasi- ja puukerrokseen, tunkeutuu kudoksiin muutaman mm:n syvyyteen  
→ läpätunkevampaa kuin alfasäteily
- ionisoi jonkin verran
- joutuessaan kehon sisälle vaarallista (ruoka, juoma, hengitys, avohaava)
- läpätunkevampaa kuin  $\alpha$ -säteily
- SUOJAUTUMINEN:
  - etäisyys
  - esim. muovi- tai alumiinisuoja
  - puhtaus, lyhyt altistumisaika
  - annostarkkailu, suodattimet, ilmastointi
  - elintarvikkeiden varastointi ja suojaus



### 3) NEUTRONISÄTEILY

- hiukkassäteilyä (n)  $\circ$
- ydin lähettää varauksettomia neutroneja (n)
- syntyy:
  - ytimen spontaanisessa hajoamisessa
  - ydinreaktioissa (ydinreaktorit, hiukkaskiihdyttimet); fissio, fuusio
- avaruuden kosminen säteily sis. neutroneja

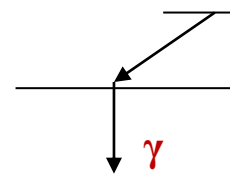
### NEUTRONISÄTEILYN OMINAISUUKSIA:

- hyvin läpätunkevää (neutroni varaukseton)
- synnyttää aineessa sekundaarisäteilyä, jolla ionisoiva vaikutus
- ei tiettyä kantamaa
- esim. noin 30 cm vesi- tai betonikerros vaimentaa säteilyn 1/10 -osaan.
- Huom! Lyijy ei juurikaan absorboi neutronisäteilyä

- SUOJAUTUMINEN:
  - etäisyys,
  - suojaksi neutroneja hidastavat ja absorboivat aineet; vesi, parafiini, polyeteeni, betoni
  - kerrosmateriaalit (esim. Fe + H<sub>2</sub>O + B)
  - puhtaus, lyhyt altistumisaika, annostarkkailu

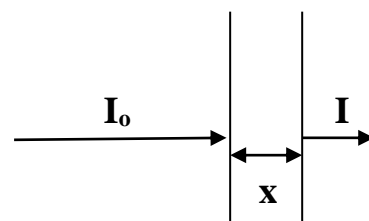
### 4) GAMMASÄTEILY

- aaltoliikettä
- lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä,  $\lambda < 1$  nm (MAOL s. 88)
- syntyy ytimen viritystilän purkautuessa



### GAMMASÄTEILYN OMINAISUUKSIA:

- suurienergiaista ja läpätunkevinta säteilyä
- ionisoiva vaikutus
- ei tiettyä kantamaa; voidaan vaimentaa, mutta sen läpäisykykyä ei voida täysin poistaa
- etenee esim. ilmassa vaimentuen puoleen noin 170 m



- gammasäteilyn intensiteetti pienenee väliaineessa eksponentiaalisesti noudattaen ns. **heikennyslakia** eli heikkenemislakia:

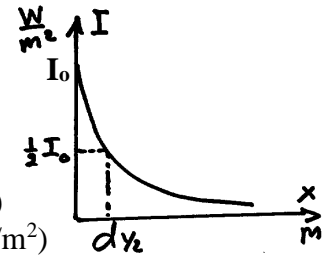
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

missä  $I_0$  = aineeseen osuvan gammasäteilyn intensiteetti ( $W/m^2$ )

$I$  = ainekerroksen läpi päässeän säteilyn intensiteetti ( $W/m^2$ )

$x$  = ainekerroksen paksuus (m)

$\mu$  = ns. **matkavaimennuskerroin** eli heikennyskerroin ( $1/m$ ), joka on aineelle ominainen.



- gammasäteilyn **puoliintumispaksuus**  $d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$

**on se väliainekerroksen paksuus, joka vaimentaa gammasäteilyn intensiteetin puoleen alkuperäisestä intensiteetistä.** (Puoliintumispaksuuden lauseke voidaan johtaa heikennyslaista, kun asetetaan  $x = d_{1/2}$  ja  $I = I_0/2$ . Totea!)

- gammasäteily absorboituu raskaisiin aineisiin (suuri tiheys) kuten lyijy (puoliintumispaksuus cm:n luokkaa) ja paksuihin betonikerrokseen (Z suuri)
- Esim. gammasäteily (5 MeV) vaimenee puoleen, jos väliaineena on
  - ilma 170 m
  - vesi 23 cm
  - betoni 11 cm
  - lyijy 1,5 cm

- SUOJAUTUMINEN: - etäisyys ( $I \propto \frac{1}{r^2}$ )

- suojaksi paksu materiakerros (betoni tai lyijy)
- puhtaus, lyhyt altistumisaika, annostarkkailu

**Huom! Säteily vaimenee kääntäen verrannollisesti etäisyyden neliöön:**  $I \propto \frac{1}{r^2}$

### **SÄTEILYLTA SUOJAUMINEN: "ASE"**

- 1) **Aika:** - mahdollisimman lyhyt altistumisaika
- 2) **Suoja:** - suojaudutaan mahdollisimman hyvin
- 3) **Etäisyys:** - pysytään kaukana säteilylähteestä

**ks. radioaktiivinen hajoaminen: musta MAOL s. 116!**

## **SÄTEILY JA SEN VAIKUTUKSET**

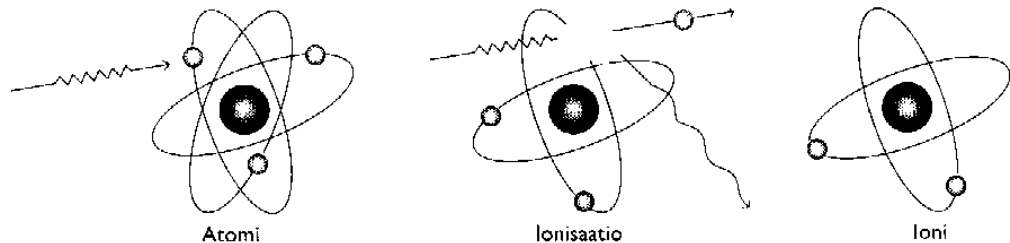
### **SÄTEILYN VAIKUTUKSET:**

#### 1) IONISOIMATON SÄTEILY

- Sähkömagneettista säteilyä, jonka energia ei riitä ionisoimaan aineen atomeja,  $\lambda > 100$  nm
- Esim.
  - mikroaallot saavat mikroaaltouunissa ruoan vesimolekyylit värähtelemään ja ruoka lämpenee
  - infrapunasäteily on lämpösäteilyä
  - lyhyt UV-säteilyä voi polttaa ihoa ja aiheuttaa suurina annoksina harmaakaihia ja melanoomaa (ihosyöpää)
  - ilmakehän otsonikerros suojaa UV-säteilyltä
  - mitä pienempi aallonpituus säteilyllä on, sitä suurempi on säteilyn energia ja haittavaikutus eliöille

## 2) IONISOIVA SÄTEILY

- hiukkassäteilyä tai lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä,  $\lambda < 0,1 \mu\text{m}$
- ionisoi atomeja ja molekyyliä eli irrottaa niistä elektroneja
- esim. alfa- ja beetasäteily, neutronisäteily (välillisesti), lyhytaaltainen röntgensäteily, gammasäteily
- mitä pienempi on säteilyn aallonpituus sitä suurempi energia ja ionisointikyky säteilyllä on



Kuva. Atomin ionisoituminen; säteily irrottaa atomista elektronin.

### Säteilyn vaikutukset elimistöön:

- **ionisoiva säteily irrottaa aineen atomeista elektroneja ja rikkoo molekyyliä sekä kuumentaa soluja**
  - **syntyneet ionit reagoivat herkästi muodostaen kudokselle haitallisia yhdisteitä, jolloin kudoksesta vaurioituu tai tuhoutuu**
  - **säteilyn luovuttama energia kuumentaa solukkoa, jolloin se tuhoutuu ja kudoksesta vaurioituu**
- radioaktiivisen aineen lähettämä säteily ionisoi kohtaamaansa ainetta
- vaarallisuus riippuu **säteilylajista ja energiasta, absorboituneen annoksen suuruudesta, altistuneesta elimistön osasta** sekä **altistumisajasta** (puoliintumisaika)
- säteilyn aiheuttamat vauriot riippuvat pääasiassa **kokonaisannoksesta**
- vaarallista, jos **säteilijä joutuu elimistöön sisälle** esim. hengityksen tai ruoansulatuksen kautta, esim. alfa-aktiivisen radon-kaasun (Ra-222) ja sen radioaktiivisten hajoamistuotteiden pääsy huoneilmaan ja keuhkoihin → lisää keuhkosityöpärisiä
- **säteilytauti**; väsymys, **pahoinvointi, muutoksia verenkuvassa, vastustuskyky alenee** (veren valkosolujen ja verihiutaleiden määrä vähenee), **ihovaurioita**
- suurina annoksina kudoksesta vaurioita, molekyylien pilkkoutumisia, **solumuutoksia**, (kromosomien vahingoittuminen: **DNA-muutoksia**: DNA:n geneettinen informaatio voi muuttua), **mutaatioita ja syöpää**
- **herkimpää säteilylle** ovat kudokset, joissa on vilkas solunjakautuminen: **luuydin, perna, imusolmukkeet, sukrauhaset, suoliston limakalvo** (paksusuoli), **keuhkot, ruoansulatusjärjestelmä** (vatsalaukku)
- **parhaiten säteilyä kestävä: aivot ja lihakset**
- **Huom! Eliö kestää elinikänsä aikana vain määrällisen annoksen säteilyä lähes riippumatta siitä, minkä ajan kuluessa annos on saatu**

< 1 Sv: ei juuri vaikutusta
1 Sv: väsymys, pahoinvointi
> 3 Sv: mahdollisesti kuolema muutamassa viikossa

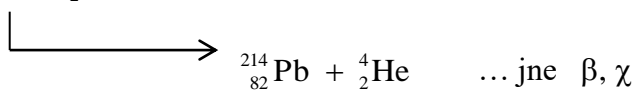
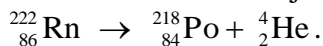
- luonnollinen taustasäteily: 1-2 mSv
- suomalaisten keskimääräinen säteilyannos vuodessa: 4 mSv
- Tshernobyl 50 v:n aikana: 2 mSv

## RADON (222-Rn)

Suomalaisten saamasta säteilyannoksesta noin **puolet** on peräisin **huoneilman radonista**.

(Radon-isotooppi:  $^{222}_{86}\text{Rn}$ , puoliintumisaika  $T_{1/2} = 3,825$  d).

**Radonkaasu** ( $^{222}_{86}\text{Rn}$ ) on hajuton ja näkymätön alfa-aktiivinen kaasu, jonka puoliintumisaika on 3,825 vuorokautta. Radonia (Rn) syntyy maaperän uraanin (U-238) hajotessa ensin radiumiksi (Ra) edelleen radoniksi (Rn). Radon-222 on riittävän pitkäikäinen, jotta se ehtii kulkeutua maaperästä huoneilmaan ennen hajoamistaan. Radon-222 muuttuu poloniumiksi alfahajoamisen kautta:



Polonium puolestaan lähettää alfasäteilyä, jolloin hajoamistuotteena on lyijyä (Pb).

Lyijy hajoaa edelleen vismutiksi (Bi) ja tuloksena on myös beeta- ja gammasäteilyä.

Radioaktiiviset hajoamistuotteet voivat tarttua ilman pölyhiukkasiin ja näin kulkeutua hengityksen kautta esimerkiksi keuhkoihin. Hiukkassäteily onkin vaarallista juuri silloin, kun säteilyä lähettävät nuklidit pääsevät ihmisen sisälle hengityksen tai ravinnon mukana.

Säteilyturvakeskuksen (STUK) internetsivuilla (<http://www.stuk.fi/>) on runsaasti tietoa säteilystä ja myös radon-kaasusta. Kannattaa tutustua!

(ks. myös Lehto – Luoma – Virolainen: Energia yhteiskunnassa –kirja).

## SÄTEILYÄ KUVAAVAT SUUREET:

### **AKTIIVISUUS A**

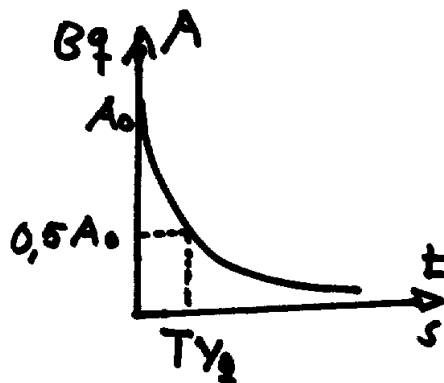
= radioaktiivisuuden voimakkuutta kuvaava suure, joka ilmoittaa hajoamisten lukumäärän aikayksikössä.

### **PUOLIINTUMISAIKA $T_{1/2}$**

= aika, jonka kuluessa aktiivisuus on vähentynyt puoleen

Esim.            At-213:  $T_{1/2} = 0,11 \mu\text{s}$   
                  Te-126:  $T_{1/2} = 1,5 \cdot 10^{24}$  a

(ks. MAOL s. 104-114)



### **Gammasäteily**

- mitä suurempi energia eli mitä pienempi aallonpituus, sitä suurempi läpikulkevuus

### **GAMMASÄTEILYN PUOLIINTUMISPAKSUUS $d_{1/2}$**

= ainekerroksen paksuus, joka heikentää säteilyn voimakkuuden puoleen

### **Biologinen puoliintumisaika**

= aika, jonka kuluessa radionuklidin pitoisuus puolittuu ihmisessä

- biologinen puoliintumisaika voi poiketa hyvinkin paljon fyysikaalisesta puoliintumisajasta, esim. K-40: biologinen puoliintumisaika on 58d, mutta fyysikaalinen puoliintumisaika  $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$  a.



# SÄTEILYN YKSIKÖT:

(ks. MAOL s. 66, 69, 103)

## 1) AKTIIVISUUS A

= HAJOAMISTEN LKM AIKAYKSIKÖSSÄ

$$A = \frac{\text{hajoamisten lkm}}{\text{kulunut aika}}$$

- yksikkö  $[A] = \frac{1}{s} = \text{Bq}$  (= becquerel)

Aktiivisuuspitoisuus: Bq/kg, Bq/m<sup>3</sup>, Bq/l

Esim.

A = 1 Bq: keskimäärin 1 hajoamista / s.

Ihmisen kehon luonnollinen radioaktiivisuus on noin 60 Bq/kg.

Uusien asuntojen radonista johtuva aktiivisuus oltava < 200 Bq/m<sup>3</sup>.

## 2) KESKIMÄÄRÄINEN ABSORBOITUNUT ANNOS D

= SÄTEILYSTÄ VÄLIAINEESEEN MASSAYKSIKÖÄ KOHDEN SIIRTUNYT ENERGIA

- yksikkö:  $[B] = \frac{J}{kg} = \text{Gy}$  (= gray)

## 3) EKVIVALENTTI ANNOS H

= ABSORBOITUNUT ANNOS x PAINOTUSKERROIN eli  $H = D \cdot Q$

- huomioi eri säteilylajit painokertoimella
- painokertoimet (laatukertoimet), ks. MAOL s. 103)
- yksikkö: Sv (= sievert), mSv, μSv

## 4) EFEKTIIVINEN ANNOS

= EKVIVALENTTIANNOSTEN PAINOTETTU SUMMA

- huomioi säteilylajin lisäksi kudoksen tai elimen (säteilylajin ja kudoksen painotuskerroin)
- yksikkö: Sv (= sievert), mSv, μSv

## 5) ANNOSNOPEUS

= SÄTEILYANNOS AIKAYKSIKÖSSÄ,

$$\text{Annosnopeus} = \frac{\text{efektiivinen annos}}{\text{aika}}$$

- yksikkö: Sv/h, mSv/h, μSv/h

- esim. - luonnon taustasäteily: 0,1 μSv/h (Suomessa: 0,04-0,30 μSv/h)
- lentokoneessa keskim. noin 4 μSv/h (päiväntas. 3 μSv/h ja navoilla 5-9 μSv/h)
- annosnopeus, jonka ylittyessä automaattinen säteilymittari hälyttää: 0,4 μSv/h

<b>SUOMALAISTEN KESKIMÄÄRÄINEN SÄTEILYALTISTUS: Säteilylähteen vuotuinen efektiivinen annos ja prosenttiosuus</b>		
<b>Säteilylähte</b>	<b>Vuotuinen efektiivinen annos / mSv</b>	<b>%</b>
Asuntojen radonkaasu (sisäilman radon)	2	54
Lääketieteellinen säteilyn käyttö (ei sädehoitoa)	0,5 (röntgendiagnostiikka) 0,04 (radioisotooppien käyttö)	14 1
Ulkoinen säteily maaperästä	0,5	14
Kosminen säteily avaruudesta	0,3	8
Luonnolliset radioaktiiviset aineet kehossa	0,3	8
Tshernobyl-laskeuma	0,04	1

(Kirjassa: Lehto-Luoma-Virolainen: Energia yhteiskunnassa, s. 61)

**HUOM!**

- Suomalaiselle säteilystä aiheutuva keskimääräinen säteilyannos vuodessa on noin 4 mSv
- Suomalaisien saamasta efektiivisestä säteilyannoksesta noin puolet on peräisin huoneilman radonista. (Tshernobyl 1986 aiheutti suomalaisille seuraavan vuoden aikana noin 0,5 mSv säteilylisän).

<b><u>ANNOSVERTAILUJA</u></b>	
- hammasröntgen	0,01 mSv
- keuhkojen röntgenkuvaus	0,1 mSv
- lentokoneessa työskentelevä (kosminen säteily) vuodessa	2–4 mSv
- suomalaiselle säteilystä aiheutuva keskim. annos vuodessa (sisäilman radon, röntgentutkimukset, ...)	4 mSv
- säteilytyöntekijöille suurin sallittu annos viiden vuoden aikana	100 mSv
- säteilytyötä tekevän keskim. vuotuisen annoksen yläraja	20 mSv
- annos, joka alle vuorokaudessa saatuna aiheuttaa säteilysairauden oireita (esim. väsymystä ja pahoinvointia)	1000 mSv
- annos, joka äkillisesti saatuna voi johtaa henkilön kuolemaan	6000 mSv

(Lähde: Fotoni 1, s. 138)

## SÄTEILYLÄHTEET

- noin puolet suomalaisten saamasta taustasäteilystä aiheutuu maaperän radonista
- avaruuden kosminen säteily, esim. lentokoneissa, vuoristossa
- luonnon radioaktiivisten aineiden lähettämä taustasäteily ( ~ 0,1  $\mu\text{Sv/h}$ ), fossiiliset polttoaineet (esim. kaivoksissa)
- ihmisen kehon oma luonnollinen radioaktiivisuus, noin 60 Bq/kg (kalium-40, hiili14, uraani, torium, radium, ...)

## AVRARUUDEN KOSMINEN SÄTEILY

- = hiukkassäteilyä, joka koostuu mm. elektroneista, protoneista, heliumytimistä sekä raskaista ytimistä
- syntyy Auringossa ja tähtien räjähtäessä
  - kosmisen säteilyn (primaarisäteily) saapuessa Maan ilmakehään atomien ytimet ja elektroniverhot absorboivat valtaosan säteilystä, jonka seurauksena syntyy säteilyä (sekundaarisäteily), joka voi saapua Maan pinnalle asti
  - vakiomäärä
  - riippuu vain paikan korkeudesta; vuoristossa suurempi määrä kuin meren pinnalla

## SÄTEILYN HYÖTYKÄYTTÖ

(lähinnä radioaktiivisen säteilyn käyttö)

### 1) MERKKIAINETEKNIikka:

- *radioisotooppien avulla voidaan tutkia aineen kulkua ja käyttäytymistä kemiallisissa, biologisissa tai fysikaalisissa systeemeissä*
- esim. jos valmistuksen yhteydessä lisätään auton männän renkaiseen radioisotooppeja, kulkeutuu näitä autoin käydessä moottoriöljyyn ja öljyn radioaktiivisuuden perusteella voidaan määrittää männän renkaiden kuluminen

### 2) LÄÄKETIETEELLINEN KÄYTTÖ: sädehoito, isotooppitekniikka

- **sädehoito**; säteilyllä voidaan tuhota syöpäsolukkoa (kobolttikanuuna: Co-60,  $T_{1/2} = 5,3$  a, alfa- ja gammasäteily, beetatroni)
- **isotooppitutkimus**; radioisotoopin käyttö merkkiaineena (merkkiainemenetelmä; gammakuvaus, esim.  $^{99}\text{Tc}$
- *potilaalle annetaan radioaktiivista ainetta, jonka kulkua seuraamalla saadaan tietoa tutkittavasta elimestä. Aineen radioaktiiviset ja stabiilit isotoopit käyttäytyvät kemiallisesti samalla tavoin.*
  - esim. - maksapotilaalle voidaan antaa hyvin pieniä määriä sellaista radioisotooppia, joka kerääntyy maksaan. Säteilynilmmaisimen avulla maksasta muodostuneesta kuvasta voidaan tutkia maksan kunto
  - kilpirauhaspotilaalle voidaan antaa hyvin pieniä määriä radioaktiivista jodia, joka kerääntyy kilpirauhaseen. Säteilynilmaisin ja säteilyyn reagoiva kamera muodostavat kilpirauhasesta kuvan, josta voidaan tutkia kilpirauhasen kuntoa
- *röntgenkuvaus*, hammasröntgen, mammografia
- sairaalasterilointi; kirurgin työvälineet, sidetarpeet, vaatteet, ruoat (Co-60; gammasäteily)
- lasersäteily: silmäleikkaukset, tutkimukset
- magneettikuvaus: aivojen ja nivelien kuvaus
- ultraäänitutkimus: poskiontelot, sikiön kehitys, nivelvaurioiden hoito, harmaakaihin poisto, desinfiointi, hammaskiven poisto, sappikivien poisto

### 3) TEOLLISUUS:

- paksuusmittaus (esim. paperi), metallilevyn, paperin tai muovikalvon tasaisuus
- putkien virtausten säätö ja tarkastelu (aktiivisuusmittaus)
- vesijohtojen ja viemäreiden vuotojen selvitys
- valukappaleiden ja hitsausseamojen tarkastus (Co-60)
- pinnankorkeusmittarit → säiliön täyttymisen seuranta
- rakennusvirheet, epäpuhtaudet (rtg ja gamma)

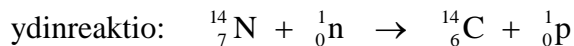
### 4) PALOVAROITIN:

- sisältää alfa-aktiivista amerikum-241 –isotooppia ( $^{241}_{95}\text{Am}$ ).
- amerikum-241 –isotoopin lähettämä alfasäteily ionisoi ilman molekyyliä, jolloin syntyy heikko sähkövirta varoittimen elektrodien välillä
- savukaasun hiukkaset pienentävät virtaa → hälytys

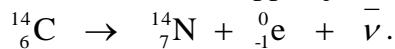
### 5) HIILIAJOITUS (radiohiilimenetelmä):

- perustuu radioaktiiviseen hiili-14 –isotooppiin ( $^{14}_6\text{C}$ , puoliintumisaika  $T_{1/2} = 5730$  a).
- käytetään muinaisten eläinten ja kasvien sekä historiallisten esineiden iän määrittämisessä.

Kosmisen säteilyn neutronien osuessa ilman typpi-14 –isotooppiin ( $^{14}_7\text{N}$ ), syntyy radioaktiivinen hiilen isotooppi  $^{14}_6\text{C}$ , jonka pitoisuus ilman hiilidioksidissa  $\text{CO}_2$  pysyy vakiona.



Suhde  $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$  pysyy keskimäärin vakiona ilman hiilidioksidissa ja siten elävässä luonnossa. Eliön kuollessa sen aineenvaihdunta loppuu ja  $^{14}\text{C}$ -saanto lakkaa.  $^{14}\text{C}$  hajoaa beetasäteilyn ( $\beta^-$ ) kautta:



Hiili-14 määrä alkaa vähentyä. Kuolleen näytteen aktiivisuus vähenee hajoamislain mukaisesti. Mitataan C-14 määrä mahdollisimman tarkasti. Kun radiohiilen puoliintumisaika 5730 a tunnetaan, saadaan tutkittavan näytteen ikä selville vertaamalla havaittua aktiivisuutta vastaavan elävän kudoksen aktiivisuuteen. Pitempiä aikoja voidaan määrittää radioaktiivisten kalium-40 ja uraani-238 -isotooppien avulla.

### 6) MUUTA KÄYTTÖÄ:

- *sydämentahdistimen ja avaruusluotaimen energialähteenä* käytetään beeta-aktiivisia aineita
- *aktiivointianalyysi*: pienten pitoisuuksien määrittäminen (hivenaineet, rikostutkimus)
- *kasvinjalostus ja tutkimus*: tutkitaan esim. ravinteiden kulkeutumista kasveissa ja luonnossa (radioisotooppia lisätään lannoitteeseen)
- *aineen rakenteen tutkimus* hiukkaskiihdyttimen ionisuihkulla; esim. taideteosten aitouden selvitys; pommitus hiukkaskiihdyttimen ionisuihkulla → saadaan alkuaineet selville (myös IR, UV, rtg tai hiukkaskiihdyttimen protonisuihku)
- mausteiden säteilytys niiden puhdistamiseksi
- *röntgensäteily*; aineen rakenteen tutkimus, muinaislöytöjen tutkimus, valuvikojen ja hitsausseamojen tutkimus, näytteen ainekoostumuksen selvitys, avaruustutkimus
- kellot, navigointivälineet, itsevalaisevat maalit
- *laser-valo*: lasertulostimet, CD-levyt, lasertutkat etäisyyden mittauksessa, laserleikkaukset ja tutkimus, kaupan viivakoodit, konserttitehosteet, tiedonsiirto (valokaapelit, tähystys), hologrammit (lujuuslaskelmat, prototyyppien testaus), metallien työstö (hiilidioksidilaser), fuusioreaktorit
- radioaallot; informaationsiirto
- ultraääni; kaikuluotaus, kellonosien ja korujen puhdistus, ym.

### Yhteenvetoa:

Ihminen saa elinympäristöstään erilaista säteilyä. Radioaktiivisia, itsestään säteileviä, aineita on aina ollut luonnossa, ja niitä voidaan valmistaa keinotekoisesti Suomalaisten saamasta ns. taustasäteilystä suurin osa tulee maaperän radonista. Muita säteilylähteitä ovat mm. röntgenkuvaus, kaikkialla luonnossa olevat radioaktiiviset aineet sekä kosminen säteily, ihmisen kehon luonnollinen radioaktiivisuus, rakennukset, maaperä, ravinto ja radioisotooppien käyttö sairauksien hoidossa. Säteily voidaan havaita erilaisten ilmaisimien avulla. Taustasäteily johtuu ympärillämme olevien radioaktiivisten aineiden hajoamisesta. Taustasäteily koostuu etupäässä  $\alpha$ -,  $\beta$ - ja  $\gamma$ -säteilystä. Alfa- ja beetasäteily on hiukkassäteilyä.  $\alpha$ -säteily koostuu helium-atomien ytimistä, ns. alfahiukkasista ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ ) ja  $\beta$ -säteily elektroneista ( $\beta^-$ -säteily) ja positroneista ( $\beta^+$ -säteily). Massansa ja sähkövarauksensa takia ne eivät pysty läpäisemään ainetta yhtä hyvin kuin gammasäteily. Gammasäteily on lyhytaaltoista sähkömagneettista aaltoliikettä ( $\lambda < 10^{-9}$  m). (ks. MAOL s. 88). Aallon ominaisuutensa takia sillä on suuri kyky läpäistä ainetta.

Säteilyn vaikutukset elimistöön johtuvat sen ionisoivasta vaikutuksesta. Ionisoivaa säteilyä on lyhytaaltainen sähkömagneettinen säteily (röntgensäteily, gammasäteily) sekä hiukkassäteily (alfa-, beeta- ja neutronisäteily). Radioaktiivisen aineen lähettämä säteily voi pilkkoa molekyyliä, jolloin DNA:n geneettinen informaatio voi muuttua. Tällöin seurauksena voi olla perinnöllisiä muutoksia ja syöpää. Säteilyn aiheuttamat vauriot riippuvat pääasiassa kokonaisannoksesta. Erityisen vaarallista on, jos säteilylähte pääsee kehoon sisälle esim. hengityksen tai ruoansulatuksen kautta. Näin on esimerkiksi radioaktiivisen radonkaasun kohdalla.

Radon (Ra-222) on hajuton ja mauton radioaktiivinen kaasu (puoliintumisaika 3,825 d), joka syntyy maaperän uraanin hajoamistuotteena. Radon kulkeutuu maan pinnalle erityisesti soraharjualueilla ja liukenee myös porakaivojen veteen. Radon kulkeutuu rakennuksen alapohjan läpi huoneilmaan. Jos ilmanvaihto on huono, niin radon ja sen pölyhiukkasiin tarttuneet kiinteät hajoamistuotteet jäävät huoneilmaan ja voivat kulkeutua hengityksen mukana keuhkoihin. Radon on alfasäteilijä ja sen hajoamistuotteet alfa-, beeta- tai gammasäteilijöitä. Erityisesti alfasäteily on voimakkaasti ionisoivaa ja sisäelimiin päässeet alfa-aktiiviset aineet aiheuttavat soluvaurioita ja syöpäriski kasvaa.

### Lähteet:

- Eskola – Ketolainen – Stenman: Fotoni 1 ja 8 (Otava)
- Lehto – Luoma – Virolainen: Energia yhteiskunnassa kirja (Tammi)

### Lisätietoja:

#### **Säteilyturvakeskus:**

<http://www.stuk.fi/>

#### ***Säteily ja siltä suojautuminen:***

YO-K2010+13, YO-K2005+16, YO-S2005-11, YO-K04-1, YO-K2002-9, YO-S2001-13, YO-S98-2, YO-S07-2, YO-S06-9, YO-S2014+12, ...

