

# Radioaktiivisuus

- Radioaktiivisessa hajoamisessa epästabiili ydin hajoaa toiseksi ytimeksi ja lähettää samalla ionisoivaa säteilyä (eli suurienergisiä hiukkasia)
  - Alkuaineilla on useita *isotooppeja* (ks. MAOL: isotooppitaulukko), joista tyypillisesti vain pieni osa on stabiileja. Suurin osa ytimestä (nuklideista) on epästabiileja *radionuklideja*.
- Ytimestä tulevan ionisoivan säteilyn lajeja ovat
  - *alfasäteily* (heliumatomin ydin: 2 protonia ja 2 neutronia)
  - *beetasäteily* ( $\beta^-$ : elektroni,  $\beta^+$ : positroni)
  - *gammäsäteily* (hyvin lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä eli fotoneja)
- Ytimestä voi tulla myös *neutronisäteilyä*, joka ei luokitella ionisoivaksi säteilyksi, vaikka sen välillisenä vaikutuksena syntyy usein ionisoivaa säteilyä, kuten gammäsäteilyä.

# Gammasäteily

- Ytimen voi virittyä (radioaktiivisen hajoamisen seurauksena) ylempään energiatilaan. Virityksen purkautuessa syntyy gammasäteilyä
  - Isotooppi ei muutu
  - Viritystilojen energiatasot ytimelle ominaisia: Säteilyn aallonpituudesta on siis mahdollista tunnistaa kyseinen radioaktiivinen aine.
- Gammasäteily on hyvin läpitunkevaa ja suurenergistä. Sitä käytetäänkin läpivalaisuun ja esim. syöpäsolujen tuhoamiseen
- Gammasäteilyn yhteydessä ei ole mielekäästä puhua kantamasta
  - Sen sijaan käytetään *puoliintumispaksuutta*  $d_{1/2}$  (riippuu aineesta, mutta myös gammakvanttien energiasta)
  - Puoliintumispaksuus on se väliaineen paksuus, joka vähentää gammasäteilyn intensiteetin puoleen.

- Intensiteetti  $I$  heikkenee tietyllä matkalla aina tietyn prosentuaalisen osuuden. Tästä seuraa että intensiteetti riippuu alkuperäisestä intensiteetistä  $I_0$  eksponentiaalisesti väliaineen paksuuden funktiona:

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

- Verrannollisuuskertoimena on *heikkennyskerroin*  $\mu$  (matkavaimennuskerroin), jonka yksikkö on 1/m.
- Mitä suurempi heikkennyskerroin on sitä enemmän väliaine absorboi tietyllä matkalla säteilyä.
- Heikkennyskerroin saadaan puoliintumispaksuudesta kaavalla

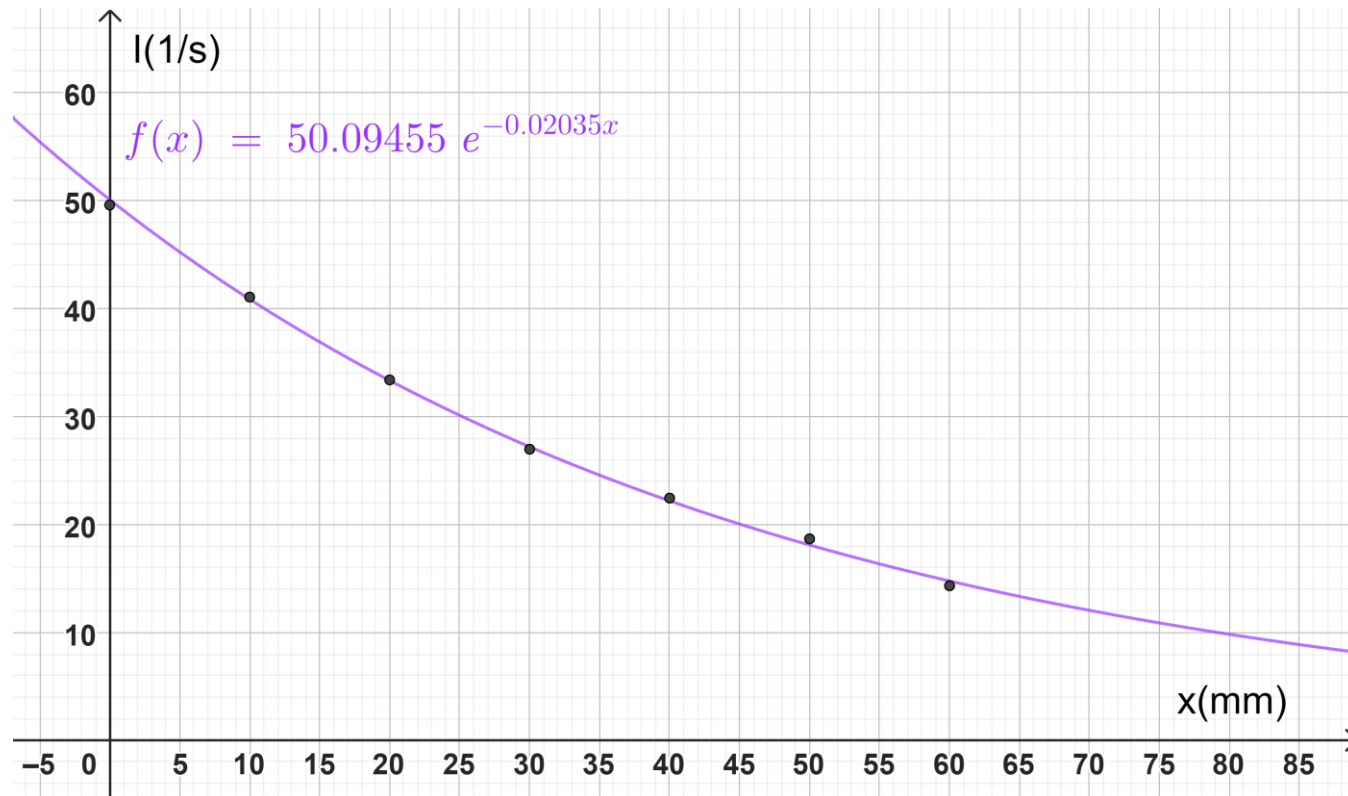
$$\mu = \frac{\ln 2}{d_{1/2}}$$

- Heikkennyskerroin ei ole vain aineelle ominainen vakio. Se riippuu myös säteilyn aallonpituudesta (ks. oppikirja, s. 103 kuvaaja)

## t. 7.15, s. 111

- a) Koska gammasäteilyn heikkenemisen tiedetään noudattavan eksponentiaalista mallia, sovitetaan mittaustuloksista tehtyyn pistelistaan (I1) eksponenttifunktio komennolla "SovitaEksp(I1)"

Intensiteetti alumiinikerroksen paksuuden funktiona:



x (mm)	I (1/s)
0,0	49,60
10,0	41,07
20,0	33,40
30,0	26,98
40,0	22,45
50,0	18,68
60,0	14,33

Lähde: YTL.

Huom! Voitaisiin käyttää myös komentoa "sovitakasvu" (komento sopii myös eksponentiaaliseen vähenemiseen), jolloin eksponenttifunktio saa muodon  $50,09455 \cdot 0,979886^x$ . Tässä kantalukuna on prosenttikerroin, jonka mukaisesti gammasäteily heikkenee millimetriä kohden. Tässä tapauksessa kerroin on n. 0,98 eli säteilyn intensiteetti heikkenee n. 2 % joka millimetrillä.

b) Säteilyn intensiteetti  $I(\frac{1}{s})$  väliaineen paksuuden  $x(\text{mm})$  funktiona on

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x},$$

missä alkuperäinen intensiteetti on sovituksen perusteella  $I_0 = 50,09455 \frac{1}{s}$  (tällä ei ole tuloksen kannalta merkitystä) ja heikennyskerroin  $\mu = 0,02035 \frac{1}{\text{mm}}$ .

Ratkaistaan kysytty alumiinikerroksen paksuus merkitsemällä intensiteetti kymmenesosaan alkuperäisestä:  $I(x) = 0,1I_0$ . Ratkaistaan saatu yhtälö laskinohjelmalla:

$$I_0 \cdot e^{-\mu x} = 0,1I_0$$

$$x \approx 0,11315 \text{ m} \approx 11 \text{ cm}$$

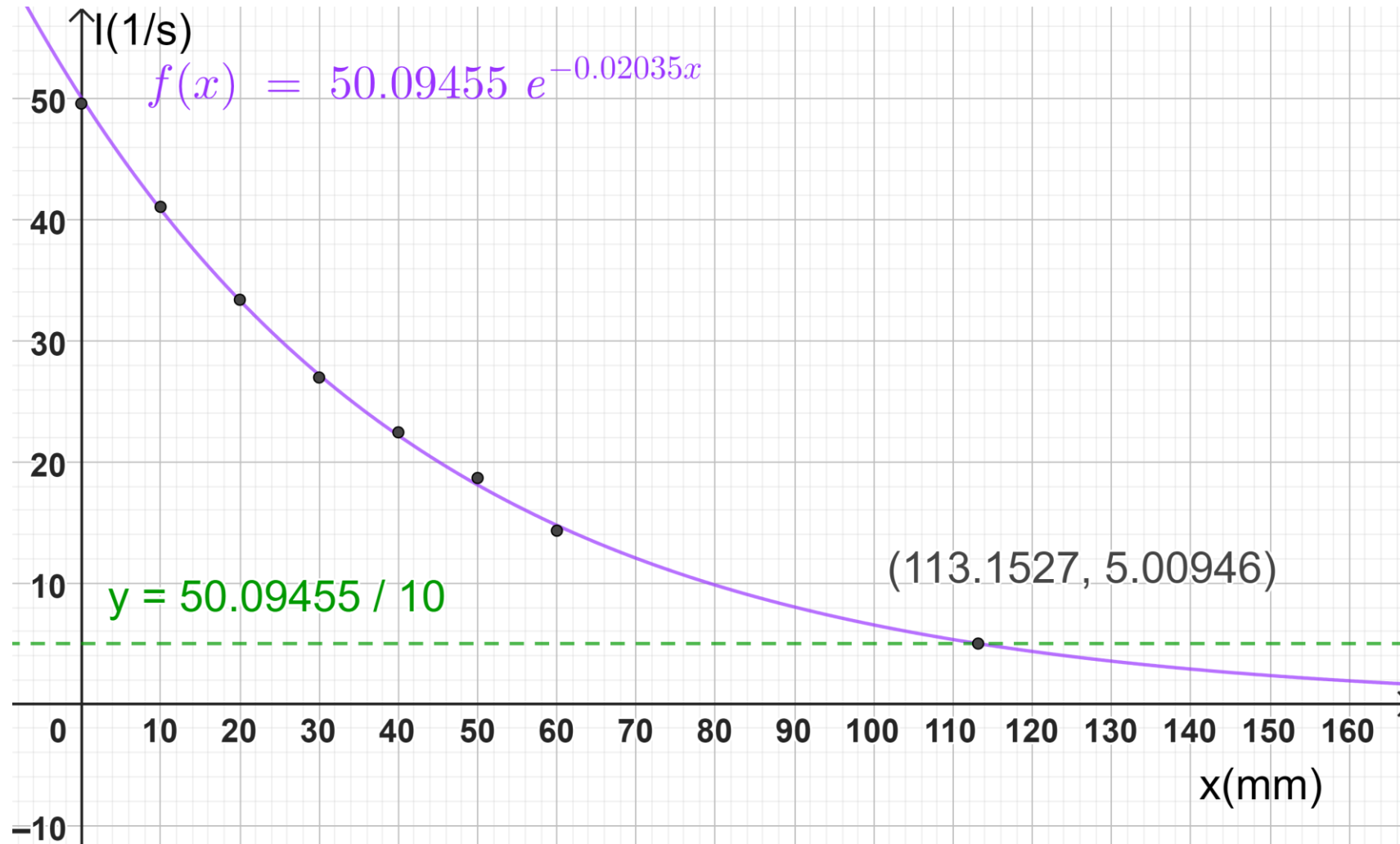
$$\mu := \frac{0.02035 \cdot 1}{\_mm}$$

$$20.35 \cdot \frac{1}{\_m}$$

$$\text{solve}(i0 \cdot e^{-\mu \cdot x} = 0.1 \cdot i0, x)$$

$$x = 0.113149144619 \cdot \_m$$

Tuloksen voi tarkistaa kuvaajasta (ja myös ratkaista: kuvaajasta ekstrapoloitu ratkaisu hyväksyttiin)



# Gammasäteilyn vuorovaikutus aineen kanssa

- Gammasäteilyn absorboituessa väliaineeseen fotonin energia ja väliaineen atomien järjestysluku vaikuttavat siihen, mikä on todennäköisin vuorovaikutustapa (ks. oppikirja, s. 106 kuvaaja).
- Vuorovaikutustapoja ovat valosähköinen ilmiö, Comptonin sironta ja *parinmuodostus*, jossa energiaa muuttuu aineeksi ja antiaineeksi
- Riittävän suurienerginen gammakvantti  $\gamma$  (fotoni) voi muuttua hiukkas-antihhiukkaspariksi (elektroni ja positroni)
  - Reaktio tapahtuu tyypillisesti vain raskaiden atomiytimien läheisyydessä liikemäärän (ja energian) säilymisen vuoksi. Raskas ydin ottaa vastaan fotonin liikemäärää, mutta vain hyvin pienen osan energiasta.
  - Varauksen säilymislain perusteella negatiivisesti varautuneen hiukkasen syntyessä pitää syntyä myös positiivisesti varautunut hiukkanen.

- Energian säilymisen vuoksi elektroni-positroniparin syntyessä on fotonin energian oltava vähintään  $2m_e c^2 \approx 1,022 \text{ MeV}$  ( $m_e$  = elektronin lepomassa)
- *Annihilaatio* on parinmuodostukselle vastakkainen ilmiö, jossa hiukkanen ja antihukkanen muuttuvat energiaksi
  - Liikemäärän säilymisen perusteella täytyy syntyä kaksi gammakvanttia, jotka lähtevät vastakkaisiin suuntiin
  - Elektronin ja positronin lepomassa muuttuu energiaksi (liike-energian merkitys on vähäinen), jolloin annihilaation kautta syntyneiden fotonien energia on n.  $m_e c^2 \approx 511 \text{ keV}$
  - Suurilla energioilla hiukkasen ja antihukkasen törmäyksessä voi syntyä myös uusi (massiivisempi) hiukkaspari
  - Lääketieteellinen PET-kuvaus pohjautuu annihilaatioon

