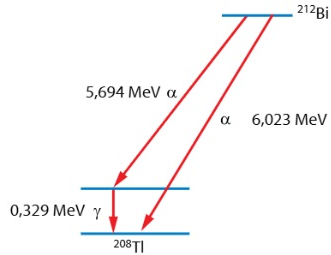


5-16. Kuvassa on osa  $^{212}\text{Bi}$ -isotoopin hajoamis-kaaviota.



- Mitä tietoja saat kaaviosta?
- Laske hajoamisessa syntyvän gamma-kvantin aallonpituus.

$$h) \text{ Fotonin energia } E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{josta } \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4,135 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot 2,99 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,329 \cdot 10^6 \text{ eV}}$$

$$= 3,77 \cdot 10^{-12} \text{ m} \approx \underline{\underline{3,8 \text{ pm}}}$$

## Kvanttitunneloitus SSD-muistissa

Kvanttimekaniikan ilmiö nimeltä **tunneloitus** on keskeinen osa SSD-muistien toimintaa. Vaikka se kuulostaa tieteiskirjallisuudelta, kyseessä on todellinen ja arkikäytössä hyödynnetty kvantti-ilmiö.

### Mitä tunneloitus tarkoittaa?

- Tunneloitus on ilmiö, jossa **hiukkanen (esim. elektroni)** voi siirtyä alueen läpi, vaikka sillä ei olisi klassisen fysiikan mukaan riittävästi energiaa siihen.
- Tämä perustuu siihen, että hiukkasen sijaintia ei voi määrittää tarkasti, vaan se kuvataan **todennäköisyysjakaumana**. Jos este on tarpeeksi ohut, elektroni voi "pujahtaa" sen läpi.

### Miten tämä liittyy SSD-muisteihin?

SSD-muistit (ja muut flash-muistit) hyödyntävät tunneloitumista **tallennusprosessissa**:

- SSD:n muistisolussa on **eristekalvo**, jonka taakse elektroneja voidaan varastoida.
- Kun soluun kohdistetaan riittävä **sähkökenttä**, elektronit saavat tarpeeksi energiaa ja voivat **tunneloitua eristekalvon läpi**.
- Kun elektronit ovat kalvon takana, ne **pysyvät siellä**, vaikka sähkökenttä poistetaan.
- Solun tila (onko siellä elektroneja vai ei) määrittää, onko kyseessä **bitti 1 vai 0**.

### Miksi tämä on tärkeää?

- Tunneloitus mahdollistaa **ei-mekaanisen, nopean ja kestävä**n tiedon tallennuksen.
- Se tekee mahdolliseksi **pienen mittakaavan rakenteet**, joita tarvitaan nykyaikaisissa muistipiireissä.
- Ilman tunneloitumista SSD-teknologia ei olisi mahdollinen nykyisessä muodossaan.

## Käytännön sovellus kvanttilomittamisesta: Kvanttisalaus (Quantum Key Distribution, QKD)

Yksi konkreettinen ja jo käytössä oleva sovellus, jossa hyödynnetään kvanttilomittamista, on **kvanttisalaus**, erityisesti **BB84- ja E91-protokollat**. Näissä lomittuminen ei ole vain teoreettinen kuriositeetti, vaan se toimii tietoturvan perustana.

### Miten kvanttisalaus toimii lomittumisen avulla?

- **Lähettäjä (Alice)** ja **vastaanottaja (Bob)** jakavat **lomittuneen hiukkasparin** (esim. fotoneja).
- Kun Alice mittaa oman hiukkasensa tilan, Bobin hiukkanen saa automaattisesti siihen korreloituneen tilan — vaikka hiukkaset olisivat kaukana toisistaan.
- Tämä mahdollistaa **satunnaisen mutta identtisen salausavaimen** muodostamisen molemmille osapuolille.
- Jos ulkopuolinen (Eve) yrittää mitata hiukkasia, se **muuttaa lomittuneen tilan**, ja häirintä havaitaan heti. Tämä tekee salakuuntelusta käytännössä mahdotonta.

### Reaaliaikainen käyttö

- **Kiina** laukaisi vuonna 2016 satelliitin nimeltä *Micius*, joka testasi kvanttilomittamiseen perustuvaa salausviestintää maan ja avaruuden välillä.
- Tulokset osoittivat, että lomittumista voidaan hyödyntää **globaalissa tietoturvassa**, esimerkiksi diplomaattisessa viestinnässä.