

Mistä Suomeen saadaan ydinvoimatekniikan osaamista?

Professori Riitta Kyrki-Rajamäki
Lappeenrannan teknillinen yliopisto

”TUHKAA JA TIMANTTIA”

- Ydinenergia saadaan kivistä
- Ainoa energiamuoto, joka on ensin keksitty teoriassa
- Luonnossa esiintyy yksi raskaan alkuaineen isotooppi, joka halkeaa helposti: 0,7 % uraanista eli U-235

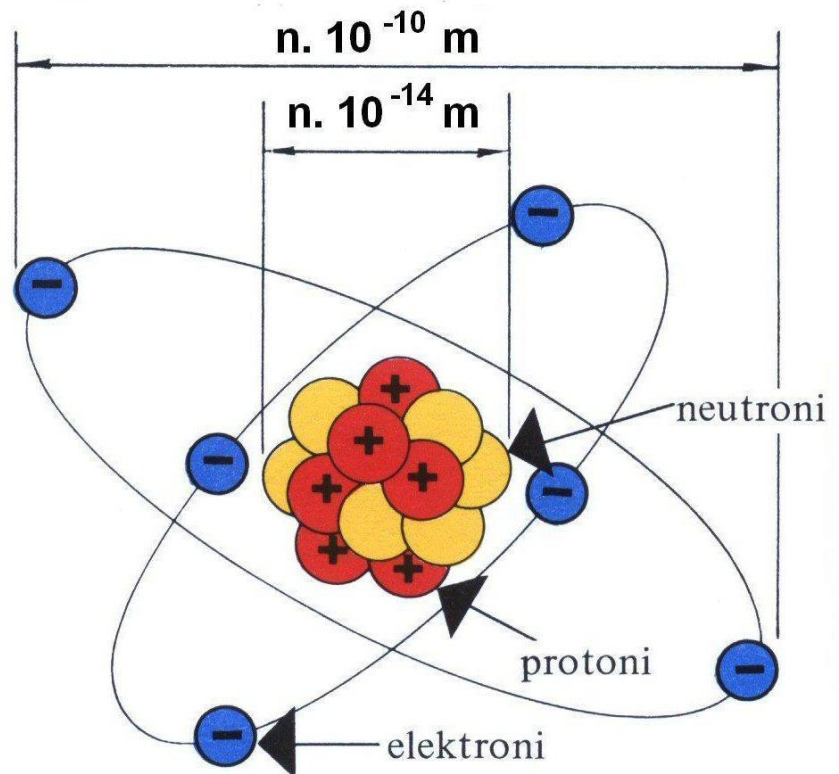
- Alun perin sitä oli 26 % uraanista - siksi Afrikassa Oklossa toimikin kalliassa itsestään luonnon reaktori noin 2 miljardia vuotta sitten
- Ketjureaktio syntyy, kun ainekoostumus on sopiva - enää se vain ei ole yhtä helppoa

Sidosenergiat 1/2

- Palamisessa hyödynnettävä lämpöenergia on peräisin atomien ja molekyylien elektroniverhon sidosenergiasta - tieteenä kemiaa
- Ydinvoimalan lämpöenergia on peräisin atomiytimen hiukkasten sidosenergiasta - tieteenä ydinfysiikkaa
-
- Ytimen sidosenergiat ovat n. miljoonakertaisia elektronipilven sidosenergiaan verrattuina
- Siksi ydinpolttainetta tarvitaan yli 100 000 kertaa vähemmän kuin fossiilista polttainetta saman lämpömäärän tuottamiseen

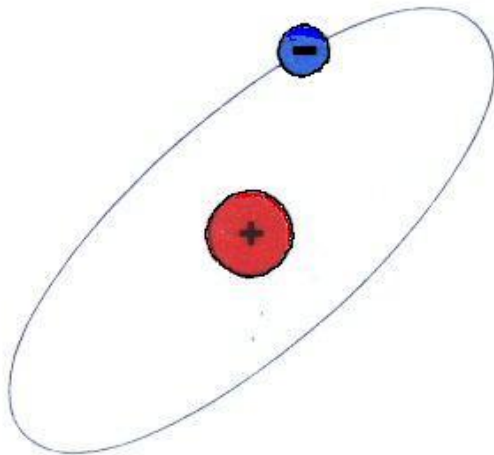
Sidosenergiat 2/2

- Kemia = elektronien vuorovaikutukset
- Ydinfysiikka = ytimen protonien ja neutronien vuorovaikutukset
- Ydinfysiikassa on kyseessä eri aine myös kun vain sen neutronimäärä eroaa = eri isotoopit

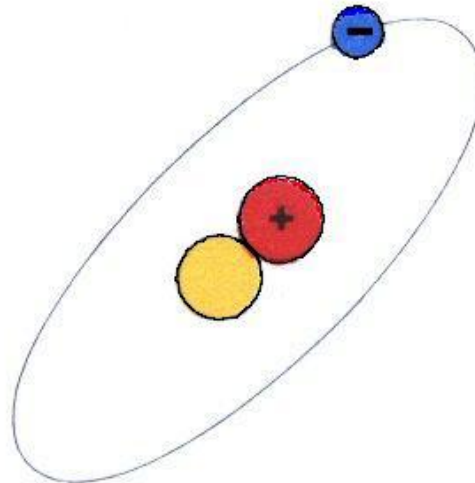


- Esim. vetyisotoopit, H-1 (H), H-2 (D) ja H-3 (T)
- Kemiallisesti samaa ainetta
- Ydinfysikaalisesti eri aineita

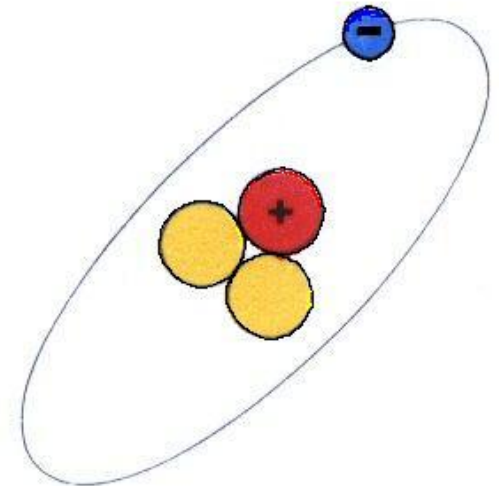
Tavallinen vety



Deuterium



Tritium

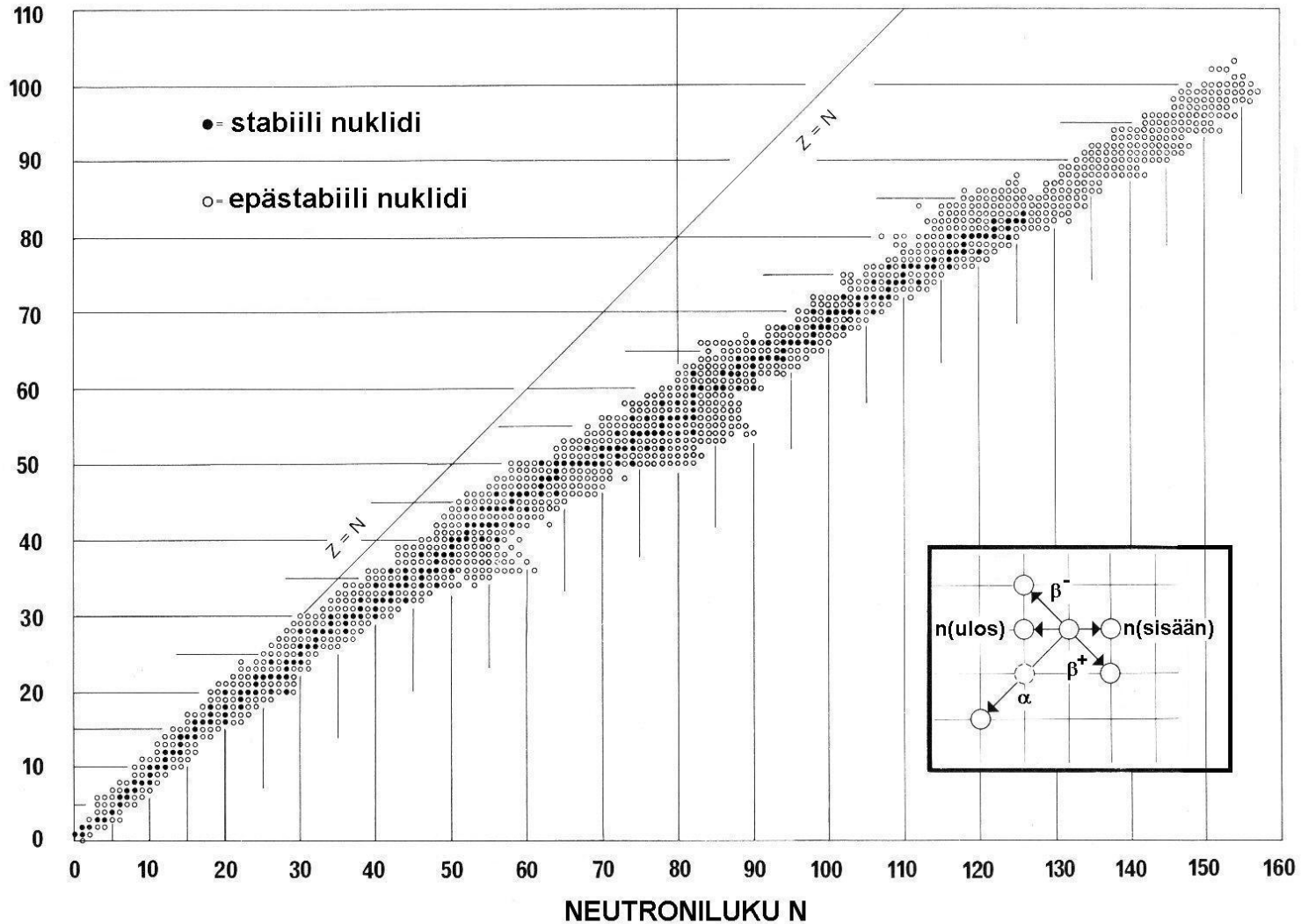


Alkuaineet ja niiden isotoopit, eri nuklidit

- Luonnosta löytyy 90 kemiallisesti eri alkuainetta
- Useimmilla aineilla on eri isotooppeja, kaikkiaan on 279 eri stabiilia nuklidia
- Lisäksi luonnosta löytyy noin 50 radioaktiivista nuklidia, joilla on hyvin pitkä puoliintumisaika, esim. kalium-40, uraani-238, uraani-235, torium-232
- Nykyisin tunnetaan noin 2500 eri nuklidia, niistä suurin osa on ihmisen tuottamia ja radioaktiivisia

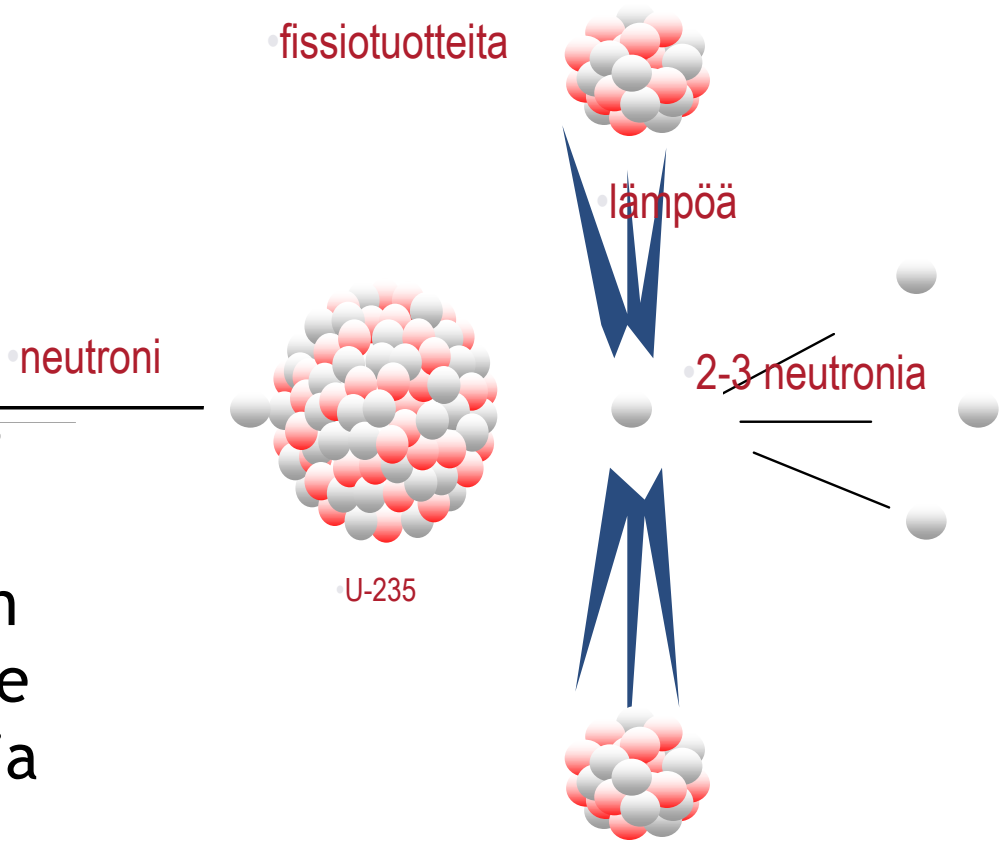
Nukliditaulukko - raskaissa aineissa suhteellisesti enemmän neutroneita

PROTONILUKU Z



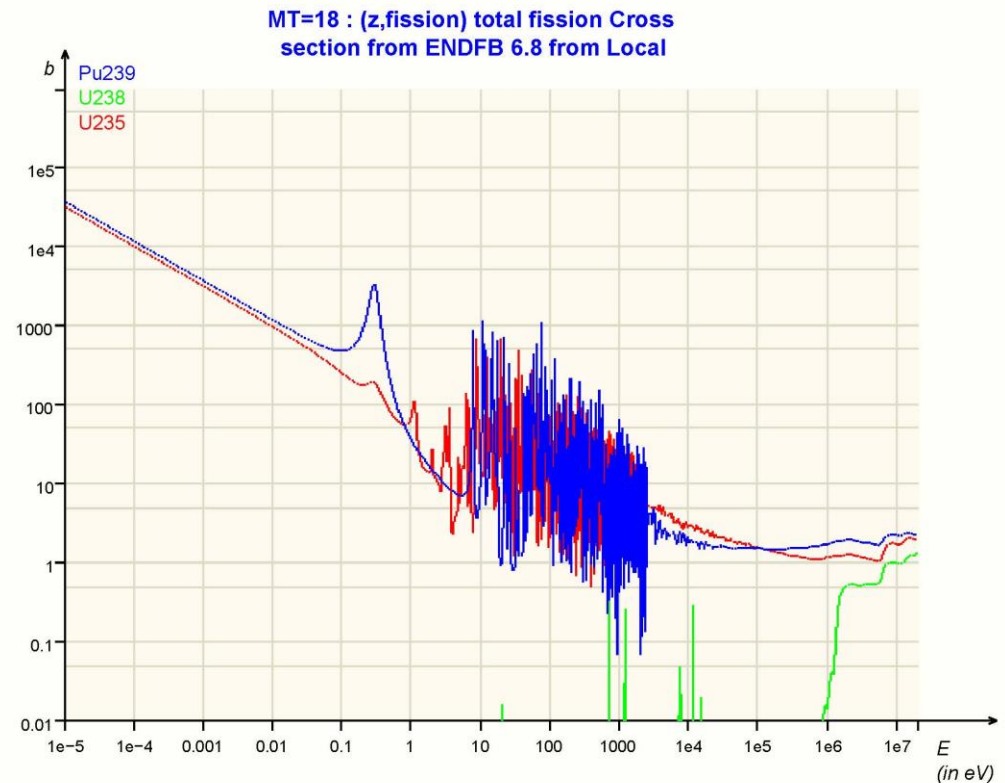
Fissio eli halkeaminen

- Neutroni halkaisee uraani-235:n ja syntyy 2 fissiotuotetta sekä vapautuu energiaa ja muutama neutroni
- Ketjureaktio jatkuu, tasaisena kun yksi ja vain yksi näistä neutronista halkaisee seuraavan uraanin
- Halkeamistuotteissa on liikaa neutroneita ja ne ovat siksi radioaktiivisia aineita

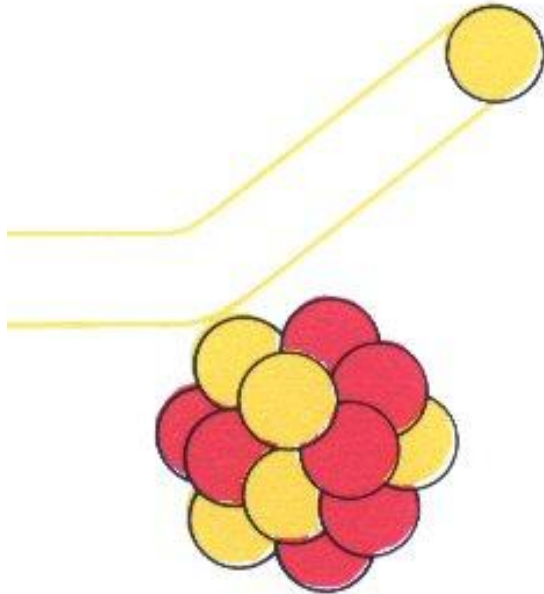


Neutronien ja reaktorin aineiden vuorovaikutustodennäköisyydet

- Joka isotoopilla yksilölliset
- Riippuvat myös (esim. tuhatkertaisesti) neutronin nopeudesta
- Ydinreaktorissa 200 eri isotooppia tärkeitä
- Tietoja mitataan ja mallinnetaan kansainvälisesti

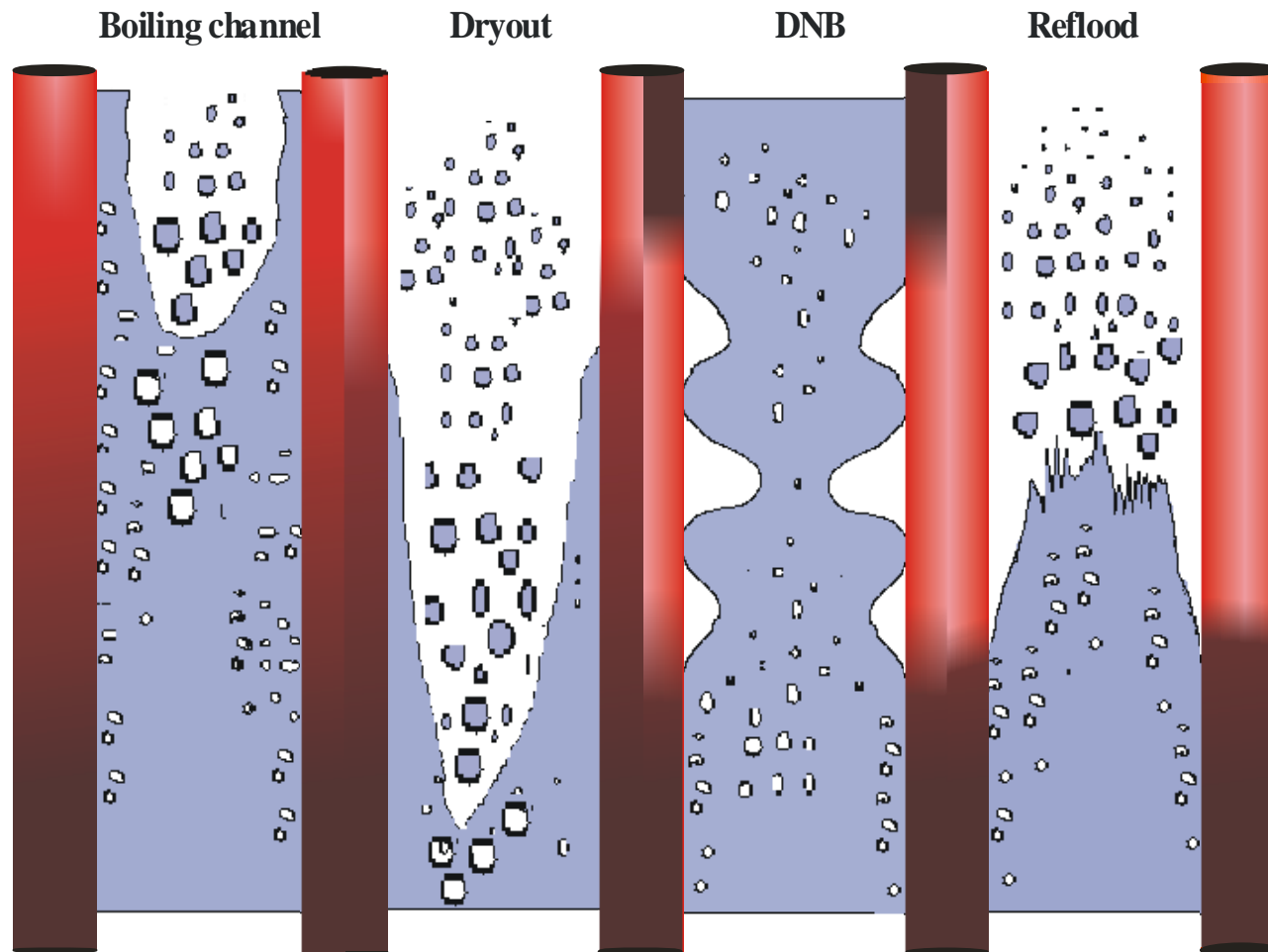


Neutronit hidastettava tehokkaiksi



- Nykyreaktoreissa fission neutronit pitää hidastaa
 - Kun neutroni törmää jonkun aineen ytimeen, mutta siroaa ytimestä toisaalle, se luovuttaa osan liike-energiastaan ytimelle ja hidastuu.
-
- Jäähdytysveden kevyt vety toimii erittäin tehokkaana neutronien hidasteena eli sillä on 2 eri tehtävää - siksi sen virtausmuodot on tunnettava erittäin tarkasti

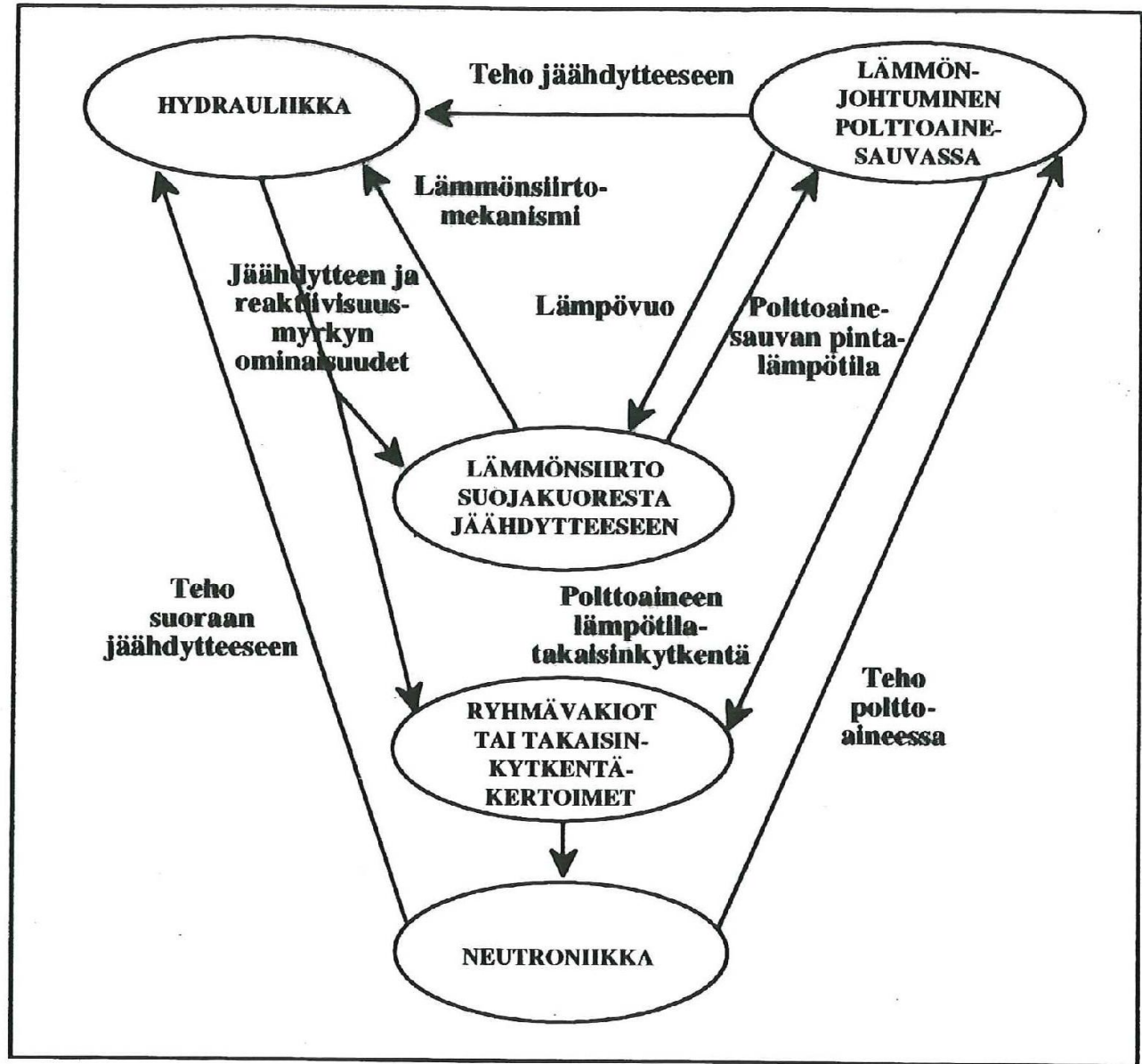
Veden ja höyryn virtausmuotoja - vaikuttavat sekä jäähdytykseen että ketjureaktioon (kuva VTT)



Ydinreaktorit mallinnetaan eri tietokoneohjelmistoilla

- Kymmeniä tuhansia laskentapisteitä, joissa satoja laskentaan vaikuttavia tekijöitä - on käytettävä tietokoneita
- Ydinenergiaan liittyvät laskut olivat ensimmäisiä tärkeitä tietokonesovelluksia maailmassa
- Suomessa ohjelmistoja on kehitetty ennen kaikkea VTT:llä
- Eri ilmiöt on hallittava ja laskettava samanaikaisesti

Tehontuoton dynamiikan ilmiöiden vuoro- vaikutukset reaktorin sydämessä



Ydinturvallisuuden perusta:

- Ketjureaktio hallitaan
- Ydinpolttoaineen jäähdytys hallitaan
- Radioaktiivisuus pidetään moninkertaisten esteiden sisällä
- Tarvitaan syvällistä ymmärrystä
- Luonnonlakien hyväksikäyttöä
- Moninkertaisuutta, erilaisuutta, eri periaatteita, eri voimanlähteitä, eri huonetiloja turvallisuusjärjestelmille
- Laatu laatu laatu - suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä
- Tarvitaan sekä nerokkuutta että pikkutarkkuutta, turhautua ei saa

Tutkimus ja koulutus 1/2

- Suomessa on vain yksi fissioenergiaan keskittynyt professuuri - Ydinenergiatekniikan professuuri Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa
Osin fissioenergiaan liittyy myös Kehittyneiden energia-teknologioiden professuuri Aallossa
VTT:llä ei ole yhtään ydintekniikan tutkimusprofessuuria
- Muissa pienissäkin Euroopan maissa (esim. Unkari, Belgia, Ruotsi) on yliopistoissa aina useita ydinenergian eri aiheisiin erikoistuneita professuureja (reaktorifysiikka, reaktoritekniikka, termohydrauliikka, vakavat onnettomuudet, säteily)

Tutkimus ja koulutus 2/2

- Esim. Iso-Britanniassa, missä vasta suunnitellaan uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamista, aloitettiin siihen valmistautuminen perustamalla 40 tohtorikoulutuspaikkaa
- Suomen tutkimusinfrastruktuuria on pääosin rakennettu 60-luvulla, muttei nyt silti näytä löytyvän yksimielistä tahtoa sitä uusia

Kansainvälinen verkostoituminen

- Ydinenergia-ala on aina ollut ja tulee aina olemaan kansainvälinen ja verkostoituminen lisääntyy kaiken aikaa kaikilla osa-alueilla
- Esim. kalliiden mittausten tulokset kerätään yhteisiin datapankkeihin (OECD:n Nuclear Energy Agency, IAEA)
- Kuitenkaan kansainvälinen toiminta ei voi koskaan korvata kotimaista riippumatonta osaamista
- EU:ssakin edelleen valtaosa alan tutkimuksesta tapahtuu kansallisella rahoituksella ja kotimaiset tuotokset ovat välttämättömiä myös vaihdon välineinä
-

Tutkimuksen hyödyllisyys 1/2

- Toisinaan esitetään: - vaikea perustella ydinturvallisuuden tutkimusta, koska kaikki on mennyt niin hyvin
- Mutta hyvinhän juuri meni Harrisburgissa, Tsernobylässä, Tokaimurassa, Paksissa ja Forsmarkissa
-eli em. perustelu on lähtökohdaltaan väärä
- Tutkimus on Suomessa ollut ydinvoima-alalle hyvin tuottoisaa, muutamia esimerkkejä:
- Kotimaisen riippumattoman tutkimuksen olemassaolo on auttanut Säteilyturvakeskusta päätöksenteon nopeudessa ja näin kokonaisuutena vähentänyt turvallisuuden takaamisesta aiheutuvia taloudellisia rasitteita.

Tutkimuksen hyödyllisyys 2/2

- Olkiluodossa kotimaiset riippumattomat analyysit ovat estäneet sopimattoman polttoaine-tyyppin valinnan.
- Loviisan 1. yksikkö on laajojen vakuuttavien tutkimusten ansiosta saanut paineastialleen käyttöluvan nykyisin jo vuoteen 2012 asti - paineastian oletettua nopeampi haurastuminen on saatu hallintaan.
- Otettiin ensimmäisenä maailmassa luvituskäyttöön kolmiulotteiset menetelmät (laskentaohjelma HEXTRAN), jotka tarkempina ja luotettavampina sallivat liian varmuusvaran poiston turvallisuusanalyyseistä -
Loviisan tehotason korotus tuli mahdolliseksi.
- Olkiluoto 3:n sydänsulan leviämisalueen rakennetta muutettiin LUT:n toteuttamien riippumattomien turvallisuuskokeiden ansiosta

Yhteenveto

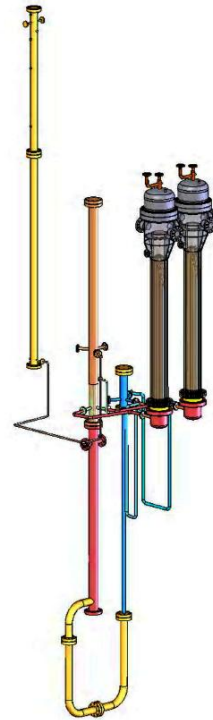
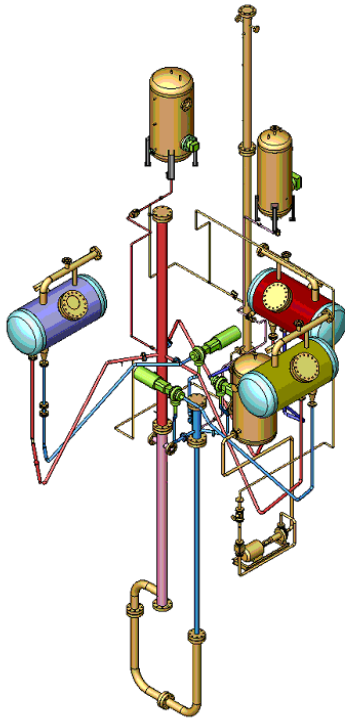
- Osaamisen kunnioittaminen on osa turvallisuuskulttuuria
- Turvallisuuden pettäessä menetetään aina myös taloudellisuus
- Teoreettinen sähköntuotantotapa arjessakin vaativaa

- Julkisessa ydinturvallisuustutkimuksessa on volyyymi perinteisesti jakautunut: 90 % VTT, 9 % LUT, 1 % muut
- Nyt olisi muillakin halua tulla alalle ja suunnitellut ja rakennettavat yksiköt luovat uusia tutkimustarpeita, mutta resurssien jako peitonjatkamismenetelmällä ei pitkälle kannaa
-
- Ydinvoima muodostaa hyvin suuren osan Suomen sähköntuotannosta ja Kioton sopimuksen kansallisesta selviytymisstrategiasta ja hiilineutraalista sähköntuotannosta

Ydinvoimatekniikka Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa

- Kansallinen erityisrooli koulutuksessa ja tutkimuksessa
 - - kattavin opetus
 - - laajimmat kokeelliset laitteistot
- Ydinvoimalaitosten kokeellinen ja laskennallinen mallinnus
- Turvallisuusjärjestelmien kehittäminen
- Uuden sukupolven (GenIV) ydinvoimalaitosten tutkimus

Koelaitteisto: Loviisa → Olkiluoto 3
PACTEL PWR PACTEL



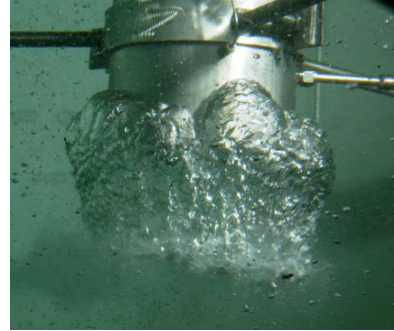
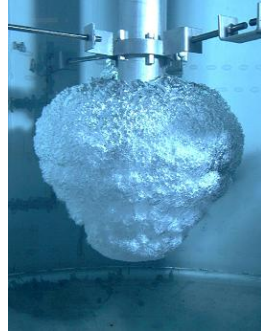
Koko painevesireaktorin primääripiiriä mallintava PACTEL-laitteisto täydennetty kuvaamaan myös pystyhöyrystimillä varustettuja laitoksia mm. EPR (projektin rahoitus Tekes/TVO/Fortum)

Osallistuminen kansalliseen SAFIR2010 ydinturvallisuustutkimusohjelmaan



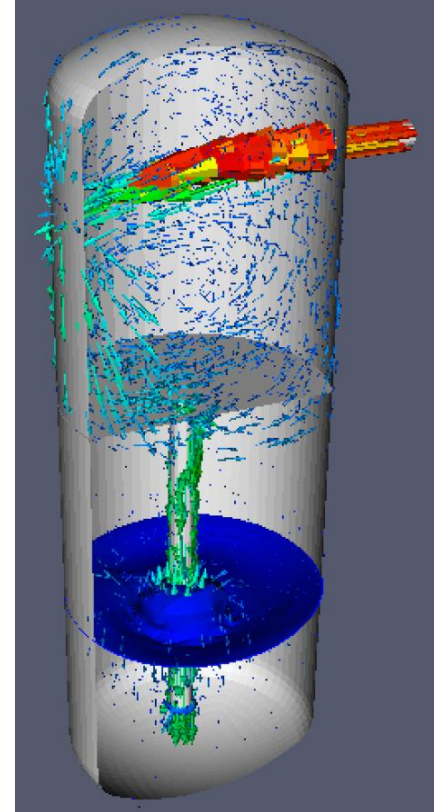
• www.vtt.fi/safir2010

Olkiluoto 1&2 -suojarakennusmalli

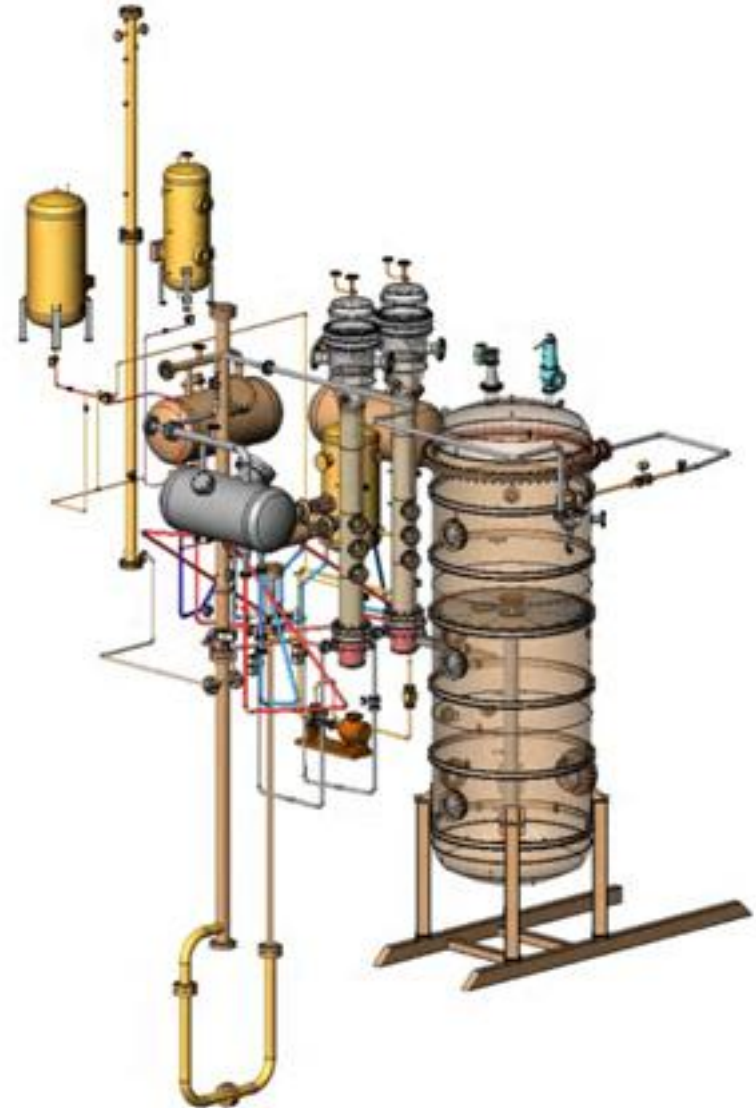
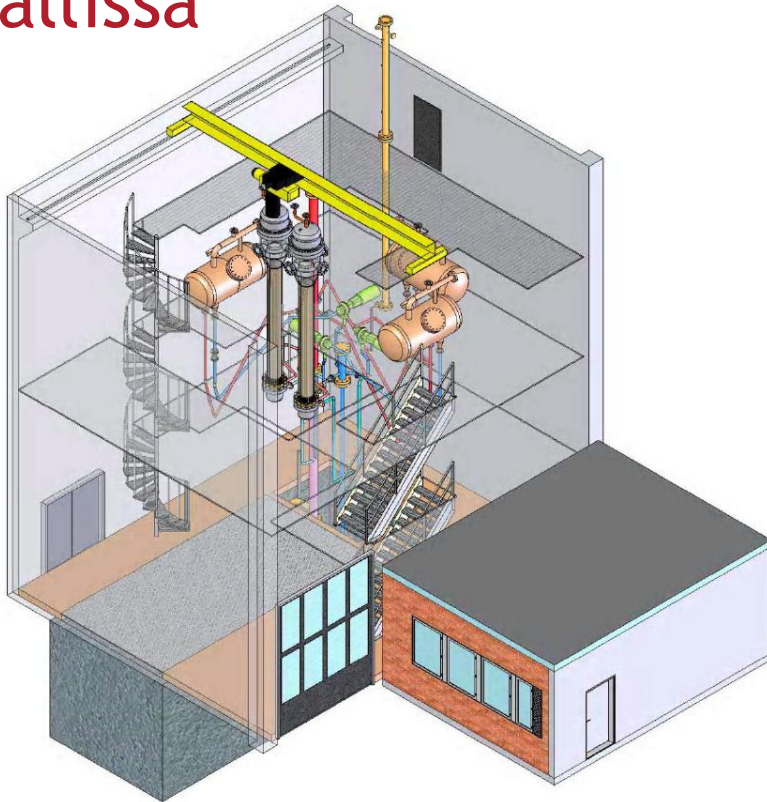


PPOOLEX -koelaitteisto
(30 m³, 4 bar ylipaine)

Kiehutusvesireaktorien
höyry/vesi/kaasuvirtausten
kokeellista ja laskennallista
tutkimusta turvallisuuden
varmistamiseksi

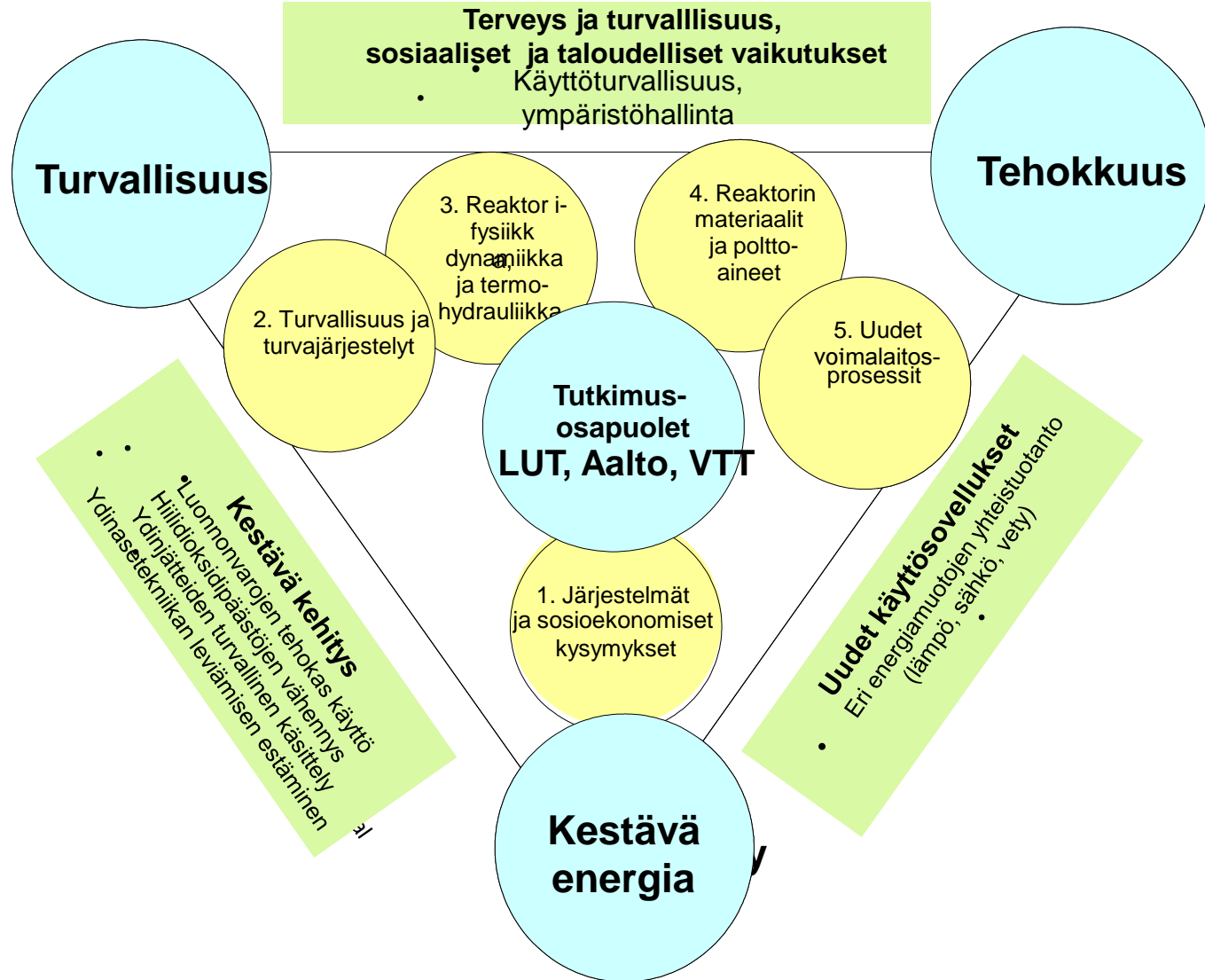


Kaikkien Suomen laitosten koemallit samassa LUTin hallissa



Uuden- tyyppiset GenIV-ydin- voimalat

Suomen
Akatemian
SusEn-
ohjelmaan
kuuluvan
NETNUC-
projektin
koordinointi



LUT/ Pebble-bed -reaktorin mallinnus

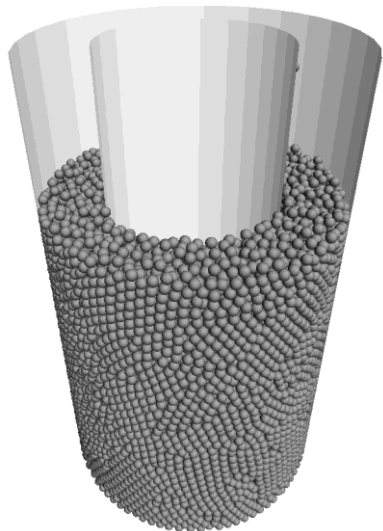
Reaktorissa uraanipolttoaine on pieninä (0,5 mm) jyvinä, jotka on sidottu biljardipallon kokoisiin grafiittikuuliin (0,5 milj. kpl)

Kuulista lämpöä, joka siirtyy keon läpi virtaavaan kaasujäähdytteeseen.

Eri laskentaohjelmien yhdistetty käyttö:

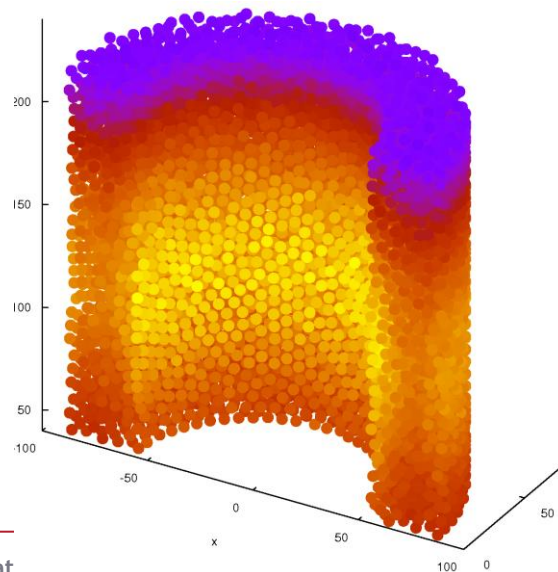
Kuulien virtaus

LUT:n kehittämä



Fissioprosessi

VTT:n Serpent



Kaasuvirtaus

kaupallinen Fluent

