



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Assessment of prediction models for plasma conditions in a magnetic-confinement fusion reactor

Tuomas Mäkelä

18.02.2022

Ohjaaja: *Prof. Ahti Salo*

Valvoja: *Prof. Mathias Groth*

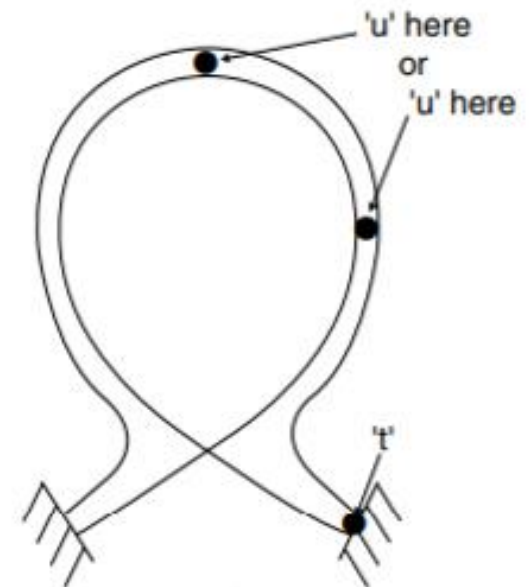
Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta

- Fuusiolaitteet ovat tyypillisesti magneettisen koossapidon laitteita
 - Viimeisen suljetun magneettisen kenttäviivan ulkopuolella olevaa aluetta kutsutaan plasman reuna-alueeksi
- Reunaplasmat ovat tärkeässä roolissa fuusiolaitteiden plasma-seinämä vuorovaikutuksissa
 - Tästä syystä reuna-alueiden mallintaminen ja käyttäytymisen ennustaminen keskeisen tärkeää ydinfuusiotutkimuksessa
- Hyvin toimivat fysikaaliset mallit mahdollistavat tulevaisuuden suuremmat fuusiolaitteet

Tavoitteet

- Mallinnetaan reuna-alueen (kuorintakerroksen) olosuhteita lähellä fuusiolaitteen seinämä-aluetta
 - Kaksi mallia: Yksinkertainen kaksipistemalli (2PM) sekä monimutkaisempi sipulinkuorimalli (OSM)
- Mallien parametreina käytetään fuusiolaitteen poikkileikkauksen yläjuoksun ('u') elektronitiheyttä ja -lämpötilaa
 - Vertaillaan malleista saatuja tuloksia divertorin ('t') mittausdataan ja tarkastellaan niiden pätevyyttä



Menetelmät ja rajaukset

- 2PM muodostaa kahden pisteen välille riippuvuuden kolmen perusyhtälön avulla:

- Paineen säilyminen: $p_{\text{static}} + p_{\text{dynamic}} = \text{Vakio} \rightarrow 2n_t T_t = n_u T_u$

- Tehon säilyminen: $q_{\parallel} = -k_0 T^{\frac{5}{2}} \frac{dT}{ds_{\parallel}} \rightarrow T_u^{\frac{7}{2}} = T_t^{\frac{7}{2}} + \frac{7}{2} q_{\parallel} \frac{L}{k_{0e}}$

- Lämpövuotiheys: $q_t = \gamma n_t k T_t c_{st}$

- OSM on kaksipistemallin looginen jatke:

- Muodostaa kaksiulotteisen kartan kuorinta-alueella vallitsevista olosuhteista

- Toteutetaan ASDEX-Upgrade 32130-kokeesta saadun datan perusteella

$$\frac{d}{ds_{\parallel}} \left(\frac{5}{2} T_e n v - k_{0e} T_e^{5/2} \frac{dT_e}{ds_{\parallel}} \right) = -Q_{eq} + Q_{Ee},$$

$$\frac{d}{ds_{\parallel}} \left[\left(\frac{5}{2} T_i n + \frac{1}{2} m_i n v^2 \right) v - k_{0i} T_i^{5/2} \frac{dT_i}{ds_{\parallel}} \right] = Q_{eq} + Q_{Ei},$$

$$\frac{d}{ds_{\parallel}} \left(m_i n v^2 + n k T_e + n T_i \right) = S_{\text{momentum}},$$

$$\frac{d}{ds_{\parallel}} (n v) = S_{\text{particle}},$$

Mallien arviointi

- Vertaillaan mallien elektronitiheyden, -lämpötilan sekä lämpövuon tuloksia kokeellisiin arvoihin koko kuorintakerroksessa
- Analysoidaan tuloksien radiaalista ja yhdensuuntaista tarkkuutta mallinnuksissa
- Tarkastellaan mahdollisten epätarkkuuksien syitä ja mallien parantamismahdollisuuksia
- Tuloksien tulkinta pääosin MATLABilla ja Pythonilla

Aikataulu

- Aiheeseen tutustuminen 06/2021
- Työn kirjoittaminen 07/2021
- Valmis työ 08/2021
- Aiheen esittely 02/2022

Tietolähteet ja aineisto

- Karhunen, J., Spectroscopic measurements of impurity migration, deposition and fuel retention in fusion devices, Doctoral thesis, Aalto University (2018).
- Stangeby, P.C., The plasma boundary of magnetic fusion devices, (2000), Philadelphia, Pennsylvania: Institute of Physics Pub.
- Reiter, D. Progress in two-dimensional plasma edge modelling. Journal of Nuclear Materials **196** (1992) 80.
- Stangeby, P.C., Elder, J.D., Fundamenski, W., Loarte, A., Horton, L.D., Simonini, R., Taroni, A., Matthews, O.F. and Monk, R.D., Code-code comparisons of DIVIMP's 'onion-skin model' and the EDGE2D fluid code. Journal of Nuclear Materials **241** (1997) 358.