

PhD Thesis: **Simulation of runaway electron dynamics in tokamak disruptions**

PhD candidate: Olasz Soma

PhD supervisor: Dr. Pokol Gergő

Az elfutó elektronok komoly veszélyforrást jelentenek a jövőben épülő tokamak típusú fúziós berendezésekre. Ezek a nagy energiájú részecskék nagy elektromos tér esetén jöhetnek létre, ami speciális üzemállapotokban indukálódik a plazmában. A termikus populációtól elszakadó elektronok könnyen relativisztikus sebességeket érhetnek el, mivel a termikus sebességnél gyorsabban haladó részecskék egyre kevésbé fékeződnek ütközések hatására. Az elfutó elektronok a tokamak kisülés két fázisában keletkezhetnek: az indulási fázisban és a plazma hirtelen összeomlásakor, melyet diszrupciónak nevezünk.

Az elfutó elektronok pontos modellezése kulcsfontosságú az elfutóelektron-keletkezés előrejelzésében, illetve a lehetséges beavatkozási eljárások tesztelésében. Két különböző modellezési megközelítéssel számolhatjuk az elektronpopuláció alakulását. A folyadék megközelítés az elfutó elektronok sűrűségét és áramsűrűségét adja meg kvázi-stacionárius esetekre levezetett analitikus keletkezési képletek használatával. Ez alacsony számítási kapacitást igényel, azonban bizonyos esetekben pontatlan lehet. Ezzel szemben a kinetikus modellezés a teljes elektron eloszlásfüggvényt számolja, így alkalmas időben gyorsan változó esetek modellezésére is. Hátránya azonban a nagy számítási kapacitás igény.

Az integrált modellezési megközelítés különböző fizikai kódok összekapcsolását jelenti munkafolyamatok segítségével összetett fizikai folyamatok modellezésére. Egy dedikált „Runaway Electron Test Workflow” munkafolyamatot fejlesztettem, annak érdekében, hogy folyadék és kinetikus modelleket vessek össze gyorsan változó plazmaszcenáriókra. Egy egyszerű indikátort kerestem annak meghatározására, hogy milyen esetekben elég pontosak még a folyadék modellek. Ilyen paraméterként azonosítottam az elektronok ütközési idejét az elfutó elektron keletkezéshez szükséges kritikus sebességgel számolva, és azt találtam, hogy az ennél az időskálánál gyorsabba változó plazmák esetén a folyadék modellek pontatlanok.

Korábban az integrált modellezési keretrendszerekben az elfutó elektron keletkezés kizárólag folyadék kódokkal volt megvalósítva. Annak érdekében az, hogy az alkalmazhatósági tartományt kiterjesszem, kinetikus modelleket integráltam a keretrendszerekbe. Mivel ezek a keretrendszerek egyszerű hozzáférést biztosítanak a kísérleti adatokhoz, ezzel lehetővé tettem a kinetikus modellek közvetlenül kísérleti adatokkal történő futtatását is.

Létrehoztam egy fizikai modellt az European Transport Simulator (ETS) munkafolyamatban önkonzisztens diszrupció szimulációk céljára. Ehhez az ASDEX Upgrade tokamakról importáltam kísérleti adatokat, és egy masszív anyagbefecskendezéses diszrupciót szimuláltam. A plazmaáram időfejlődésének szimulált fejlődését aztán összehasonlítottam a kísérleti eredményekkel.

Végül prediktív szimulációt futtattam a JT-60SA tokamak egy diszrupciójáról, annak érdekében, EDICAM látható fény kamera felhasználhatóságát megvizsgáljam az elfutó elektronok szinkrotron sugárzásának detektálására. A tanulmány pozitív eredményét az első JT-60SA kampány megfigyelései megerősítették.