

1. félévi beszámoló  
**Horváth Benedek** ([horvathb95@gmail.com](mailto:horvathb95@gmail.com))

Statisztikus Fizika, Biológiai Fizika és Kvantumrendszerek Fizikája PhD program  
Témavezető: Derzsi Aranka

A dolgozat címe: **Control of particle properties in low-pressure radio frequency gas discharges – A részecsketulajdonságok szabályozása alacsony nyomású rádiófrekvenciás plazmákban**

2020. január 24.

## Bevezetés

A rádiófrekvenciás (RF) táplálású, kapacitív csatolású gázkisülések széles körű – pl. a chip- és napelemgyártás technológiai lépéseiben való – gyakorlati alkalmazásuk miatt igen fontos kutatási területét képezik az alacsonyhőmérsékletű plazmafizikának. A plazma alapú felületkezelési eljárások során az elektródán lévő szubsztrátréteg tulajdonságait a plazmából származó, a felületet bombázó részecskék változtatják meg, így lényeges, hogy a plazma részecskéi – különösen az ionok – milyen fluxussal és energiaceloszlással érik el az elektródákat. A két részecsketulajdonság egymástól független szabályozására gyakran alkalmazott és jól működő módszer a többfrekvenciás gerjesztő feszültség használata:

$$\phi(t) = \sum_{k=1}^N \phi_k \cos(2\pi kft + \theta_k),$$

ahol  $f$  az alapharmonikus frekvenciája,  $k$  a felharmonikusok sorszámja,  $\phi_k$  az egyes harmonikusok feszültségamplitúdója,  $\theta_k$  pedig azok fázisszöge. A harmonikusok számától és fáziskülönbségétől függően aszimmetrikus hullámforma jöhet létre, aminek következtében a plazmában megjelenik egy egyenfeszültség-komponens, biztosítva, hogy egy rádiófrekvenciás periódusra véve a két elektródára érkező töltésmennyiség zérus legyen. A  $\theta_k$  paraméter az egyenfeszültségű komponens – és ezen keresztül az elektródákra érkező ionok energiájának a – kontrollparamétereként funkcionál, amitől bizonyos kisülési körülmények között független az ionok fluxusa. A gyakorlati alkalmazások szempontjából ezek az optimális kisülési paraméterek.

A PhD munkám keretében a plazma alapú felületmódosító eljárásokban alkalmazott elektropozitív és elektronegatív gázokban és gázkeverékekben (Ar, O<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub> és ezek különféle kombinációi) működő, alacsony hőmérsékletű, alacsony nyomású kapacitív RF gázkisülések szisztematikus vizsgálatát tűzöm ki célul. A kutatás keretében tervezett részecske alapú numerikus szimulációk és kísérletek segítségével feltérképezhetők az ionfluxus- és ionenergia független szabályozásának lehetőségei. Ezen túlmenően az elektronok energiafelvételi mechanizmusa és az ionizációs dinamika új részletei ismerhetők meg, és tisztázhatóvá válik a különféle gázfázisú és felületi ütközési folyamatok hatása a plazmajellemzőkre, ami segíti a plazma alapú felületkezelési eljárások optimalizációját.

## Az aktuális félévben elvégzett kutatások

A félév során részben az Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP) keretében vállalt kutatási ütemtervemnek megfelelően a mesterszakos diplomamunkám során megkezdett kutatást folytattam, illetve kéziratban foglaltam össze annak eredményeit, amely jelenleg elbírálás alatt áll a Plasma Sources Science and Technology szakfolyóirat szerkesztőségénél. A kutatás során neon

gázban működtetett egyfrekvenciás (szinuszos hullámformával gerjesztett) gázkisülésekben vizsgáltam az elektronok energiafelvételi mechanizmusait a nyomás és a gerjesztő frekvencia függvényében. Az általam végzett „Particle-in-Cell/Monte Carlo Collisions” (PIC/MCC) részecske alapú numerikus szimulációkat összehasonlítottam a korábban a csoportunkban végzett fázisfelbontott optikai emissziós spektroszkópiai mérésekkel. A Ne  $2p_1$  atomi állapot alapállapotból történő gerjesztésének tér- és időbeli eloszlására a szimuláció és a kísérlet egymással jól egyező eredményeket produkált, azonban a kísérlettel verifikált szimuláció megmutatta, hogy az ionizációs dinamika alacsony frekvencia és/vagy nagy nyomás esetén jelentősen különbözhet a gerjesztés tér- és időbeli eloszlásától. Ennek oka, hogy az elektronok keltette gerjesztés és az ionizáció hatáskeresztmetszete eltérő energiafüggést mutat a gázkisülésben jelenlévő elektronok energiatarományában (zérustól néhány 100 eV-ig), és a jelentős számú nagyenergiás, az elektródák felszínéről ionok által kiváltott elektronok ( $\gamma$ -elektronok) nagyobb valószínűséggel okoznak ionizációt, mint gerjesztést. Ezen túlmenően a szimulációk és a kísérletek egyaránt működésmódbeli átmenetet – lényegi változást az ionizációs dinamikában – mutatnak a nyomás növelésével, rögzített gerjesztő frekvencia és feszültségamplitúdó mellett.

A fentiekén túlmenően elkezdtem tanulmányozni  $O_2$  gázban működtetett egyfrekvenciás gázkisüléseket a PIC/MCC szimulációs módszerrel, valamint Ar gázkisüléseket többfrekvenciás gerjesztés mellett. Mindkét esetben kétféle, egy egyszerű és egy valóság-hű modellt használok az elektron-elektroda kölcsönhatás tárgyalására, intenzív elektronemissziójú felületet feltételezve. A valóság-hű modellt korábban csak argon gázkisülések tanulmányozására használtam; jelenleg ezt a modellt integrálom az oxigén gázkisüléseket modellező kódba. Miután egyfrekvenciás gázkisüléseken teszteltem a modellt, többfrekvenciás  $O_2$  gázkisülések vizsgálatára térek át. A többfrekvenciás argon gázkisülések szimulációja jelenleg fut; eredmények a közeljövőben várhatóak. Mind az argon-, mind az oxigéngázban működtetett többfrekvenciás kisülések vizsgálatának a célja feltárni, hogy az intenzív elektronemissziójú elektródafelület hogyan befolyásolja az ionenergia és -fluxus szabályozási lehetőségeit, illetve többfrekvenciás kisülés esetén hogyan befolyásolják az elektródákról származó másodlagos elektronok a plazmajellemzőket, különös tekintettel az ionizációs dinamikára.

## Publikációk

Horváth, Benedek; Derzsi, Aranka; Schulze, Julian; Korolov, Ihor; Hartmann, Peter; Donkó, Zoltán: *Experimental and kinetic simulation study of electron power absorption mode transitions in capacitive radiofrequency discharges in neon*. Plasma Sources Science and Technology (PSST-103492), elbírálás alatt. Tartalmi részletek fentebb.

## Tanulmányi tevékenység

A félév során két tárgyat végzek el:

- Evolúciós játékelmélet (FIZ/3/059)
- A káoszelmélet alkalmazása (FIZ/3/018) – a beszámoló elkészítésekor még folyamatban

## **Konferenciák**

- 2019. október 28–november 1. között részt vettem a The 72<sup>nd</sup> Annual Gaseous Electronics Conference tudományos fórumon, ahol *Experimental confirmation of transitions in the discharge operation mode in low-pressure capacitively coupled Ne plasmas* címmel mutattam be posztot, amelyen a fenti kéziratban közölt eredményeket foglaltam össze.
- Heti rendszerességgel részt vettem szakmai partnerünk, a Ruhr University Bochum egyetemen működő Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology intézet által szervezett kisebb létszámú nemzetközi online meetingen és nagyobb létszámú nemzetközi online plazma szemináriumon.

## **Elismerések**

2019. szeptember 1–2020. június 30. között ÚNKP ösztöndíjban részesülök.