

2. félévi beszámoló  
**Horváth Benedek** ([horvath.benedek@wigner.hu](mailto:horvath.benedek@wigner.hu))

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. június 19.

## **Bevezetés**

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 keverékei) működő, alacsony hőmérsékletű, alacsony nyomású kapacitív rádiófrekvenciás gázkisülések szisztematikus vizsgálatát tűzöm ki célul. Tanulmányozom az elektronok energiafelvételi mechanizmusát és az ionizációs dinamikát, a különféle gázfázisú ütközések és felületi folyamatok hatását a plazmajellemzőkre, illetve feltérképezem az ionfluxus- és ionenergia független szabályozásának lehetőségeit többfrekvenciás gázkisülésekben, ami segíti a plazma alapú felületkezelési eljárások optimalizációját.

## **Az aktuális félévben elvégzett kutatások**

A félév során O<sub>2</sub> gázban működtetett egyfrekvenciás gázkisüléseket tanulmányoztam a Particle-in-Cell/Monte Carlo Collisions (PIC/MCC) részecske alapú szimulációs módszerrel. Elsősorban az elektron–elektróda felületi folyamatok, azon belül is az elektródákból kilépő, elektronok által keltett másodlagos elektronok plazmajellemzőkre gyakorolt hatását vizsgáltam. Az elektron–elektróda folyamatok figyelembe vételére kétféle modellt használtam a szimulációkban: egy egyszerű modellt, amely konstans együtthatóval veszi figyelembe az elektronok rugalmas visszaverődését, illetve egy valóság-hű modellt, amely megkülönböztet rugalmas és rugalmatlan visszaverődést, valamint figyelembe veszi az elektronok általi elektronkiváltást. E három folyamathoz a beérkező elektron energiájától és beesési szögétől függő együtthatók tartoznak, az energiafüggő görbék pontos alakját pedig az elektródafelületre jellemző 10 bemeneti paraméter értéke határozza meg (a legfontosabbak: a maximális elektronemisszió és rugalmas visszaverődés értéke, a hozzájuk tartozó energiák, az elektronkiváltás küszöbenergiája). A valóság-hű modellt korábbi kutatásom során a kutatócsoportunk argon gázkisüléseket modellező kódjába implementáltam. A félév során implementáltam a modellt az oxigén plazmákra fejlesztett kódba is, ennek kapcsán átdolgozva a kód felületi folyamatokat kezelő részét. A valóság-hű modell használatával, SiO<sub>2</sub> elektródákat feltételezve, alacsony nyomáson (0,5–1 Pa) egy komplex elektronkiváltási és ionizációs dinamikát figyelhetünk meg, amiben az ionok és az elektronok által az elektródákról kiváltott másodlagos elektronok ( $\gamma$ - és  $\delta$ -elektronok) együtt játszanak meghatározó szerepet, a korábban argongázban megfigyeltekhez hasonló módon. Ezen túlmenően oxigéngázban az elektronindukált másodlagos elektronok jelentős hatással vannak a kisülés elektronegativitására (az O<sup>-</sup> negatív ionok arányára a kvázisemleges plazma tartományban az elektronokhoz képest), alapvető működésmódjára: míg az elektronindukált elektronokat figyelmen kívül hagyó egyszerű modell elektronegatív gázkisülést eredményez – az ionok válnak elsődleges negatív

töltéshordozóvá a létszámtöbbletük miatt –, addig a valóság-hű modell elektropozitív gázkisülést mutat. Ezen eredményeket további részletes vizsgálatok után ősszel a Gaseous Electronics Conference nemzetközi online konferencián, illetve egy publikáció keretében tervezem bemutatni.

A fentiek mellett argongázban vizsgáltam többfrekvenciás gázkisüléseket az elektron-elektroda kölcsönhatás kétféle modelljével, a valóság-hű modell paramétereit SiO<sub>2</sub> elektródákra beállítva. Egyelőre a kisülés működési tartományát térképezem fel, részletes elemzés a közeljövőben lesz esedékes. A félév folyamán lett elfogadva egy publikáció *Surface processes in low-pressure capacitive radio frequency discharges driven by tailored voltage waveforms* címmel, amelynek társszerzője vagyok. Ebben az általam implementált valóság-hű modellel vizsgáltuk Ar gázban a felületi folyamatok szerepét többfrekvenciás gázkisülésekben, Cu elektródákat modellezve. Ebben a vizsgálatban az elektronok általi elektronkiváltás mellett a nehéz részecskék (ionok, gyors atomok) keltette elektronemissziót is egy energiafüggő, valóság-hű modellel kezeltük, illetve az elektródák Ar<sup>+</sup> ionok és Ar atomok általi porlasztását is modelleztük, a folyamat energiafüggését figyelembe véve. A gerjesztő feszültség harmonikusainak  $\theta_k$  fázisszögének hangolásával az elektródafelületre érkező ionok és atomok energiája hatékonyan kontrollálhatóan bizonyult, aminek egyenes következményeként a porlasztás – a porlasztott rézatomok elektródáról kimenő fluxusa – is kontrollálható. Ez a technológiai alkalmazások szempontjából kulcsjelentőségű.

A félév során jelent meg az előző félév folyamán beküldött – tematikailag az előző félévi beszámolómban részletezett – publikációm *Experimental and kinetic simulation study of electron power absorption mode transitions in capacitive radiofrequency discharges in neon* címmel, ÚNKP kutatásom keretében. A publikáció végleges változata felhívja a figyelmet a fázisfelbontott optikai emissziós spektroszkópia alkalmazásának korlátaira a gázkisülések működés módjának diagnosztikájában. A témában online szemináriumi előadást tartottam februárban (lásd a konferenciák fejezetben). Szintén ehhez a témához kapcsolódóan ősszel egy workshop-előadást fogok tartani a Gaseous Electronics Conference online fórumon (lásd alább): itt azt fogom bemutatni, hogyan lehet az optikai spektroszkópiai módszer és szimulációs eredmények összevetésével becslést adni a nehéz részecskék általi felületi elektronkiváltásra.

## Publikációk

- Horváth, Benedek; Derzsi, Aranka; Schulze, Julian; Korolov, Ihor; Hartmann, Péter; Donkó, Zoltán: *Experimental and kinetic simulation study of electron power absorption mode transitions in capacitive radiofrequency discharges in neon*. 2020, Plasma Sources Science and Technology ([PSST 29 055002](#))
- Derzsi, Aranka; Horváth, Benedek; Donkó, Zoltán; Schulze, Julian: *Surface processes in low-pressure capacitive radio frequency discharges driven by tailored voltage waveforms*. 2020, Plasma Sources Science and Technology (publikálásra elfogadva, <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab9156>)

## Tanulmányi tevékenység

A félév során két tárgyat végzek el:

- Elméleti evolúcióbiológia (FIZ/3/005E)
- Sejtszignalizációs hálózatok kvantitatív analízise (FIZ/3/055E)

## **Konferenciák**

- *International Online Plasma Seminar* nemzetközi online szeminárium kétheti rendszerességgel (szervező: Ruhr University Bochum, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology). 2020. február 20-án előadás: *Experimental and kinetic simulation study of electron power absorption mode transitions in capacitive RF discharges in neon.*
- *International Group Meeting* nemzetközi online szeminárium kétheti rendszerességgel (résztevők: Ruhr University Bochum, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology és külső szakmai partnerek)
- *Focus Group Meeting on Technological High Frequency Plasmas* nemzetközi online szeminárium kétheti rendszerességgel (résztevők: Ruhr University Bochum, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology és külső szakmai partnerek)
- *Gaseous Electronics Conference*, 2020. október 5-9., nemzetközi online konferencia. Meghívott workshop-előadás: *Computationally assisted in-situ measurement of secondary electron emission coefficients in CCPs.*

## **Elismerések**

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