

3. 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 gázkisülésekben**

2021. január 20.

## **Bevezetés**

A PhD munkám keretében a plazma alapú felületmódosító eljárásokban alkalmazott elektropozitív és elektronegatív gázokban és gázkeverékekben 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 folytattam az oxigéngázban működtetett egyfrekvenciás gázkisülések tanulmányozását a Particle-in-Cell/Monte Carlo Collisions (PIC/MCC) részecske alapú szimulációs módszerrel. Elsősorban a plazma részecskéinek az elektródákkal való kölcsönhatását, azon belül is az elektródákból történő másodlagoselektron-kiváltást és ezen elektronok plazmajellemzőkre gyakorolt hatását vizsgáltam. Az elektron–elektróda folyamatok figyelembe vételére kétféle modellt használtam a szimulációkban: egy egyszerű modellt, ami konstans együtthatóval veszi figyelembe az elektronok rugalmas visszaverődését, illetve egy valóságghű modellt, ami megkülönböztet rugalmas és rugalmatlan visszaverődést, valamint figyelembe veszi az elektronok általi elektronkiváltást. A valóságghű modell használatával, SiO<sub>2</sub> elektródákat feltételezve, alacsony nyomáson (0,5–1 Pa) jelentősen eltérő plazmaparamétereket figyeltem meg az egyszerű modell segítségével megfigyeltekhez képest. Míg az egyszerű modell alapján az elektronsűrűség adott nyomáson gyakorlatilag konstans marad a feszültség növelése során (vizsgálataimban 500–1500 V között), az elektronok általi elektronkiváltást energiafüggő módon figyelembe vevő valóságghű modell szerint az elektronsűrűség lineárisan növekszik a feszültséggel, a vizsgált tartományban egy nagyságrenddel. Az elektronok általi gerjesztéssel létrejövő O<sub>2</sub>(a<sup>1</sup>Δ<sub>g</sub>) metastabil molekulák koncentrációja hasonlóképp állandó marad az egyszerű modell alapján, míg a valóságghű modell szerint lineárisan, mintegy 6-os faktorial növekszik a feszültség növelésével. Mindeközben a gázkisülés elektronegativitása (a negatív ionok és az elektronok sűrűségének aránya) a feszültség növelésével csökken; az egyszerű modell szerint lineárisan a kezdeti érték kétharmadára, míg a valóságghű modell szerint a változás exponenciális, és mintegy tizedére csökken az elektronegativitás. Mindezek hátterében egy komplex elektronkiváltási és ionizációs dinamikát figyelhetünk meg a valóságghű modell segítségével, amiben az ionok és az elektronok által az elektródákról kiváltott másodlagos elektronok (úgynevezett γ- és δ-elektronok) együtt játszanak meghatározó szerepet, a korábban argongázban megfigyeltekhez hasonló módon. A

témával kapcsolatos első eredményeimet 2020 októberében egy poszteren mutattam be az online megrendezett Gaseous Electronics Conference (GEC) nemzetközi konferencián, 2021 februárjában pedig előadásban fogom ismertetni a Symposium on Application of Plasma Processes (SAPP) konferencián. Megkezdtem továbbá az eredményeket bemutató publikáció kéziratának készítését. A folyóiratcikk közzététele előtt további vizsgálatokat végzek az  $O_2^+$  ionok és semleges  $O_2$  molekulák általi felületi elektronkiváltás szerepének feltárására: míg a fenti két modellben az ionok általi elektronkiváltást egy konstans valószínűségi együtthatóval ( $\gamma = 0,4$ ) vettem figyelembe, ezúttal egy harmadik modellt használok, amelyben az elektronok mellett az ionok és a semleges molekulák általi elektronkiváltást is valóságosan, energiafüggő módon veszem figyelembe. A modellt a közelmúltban implementáltam a PIC/MCC kód felületi folyamatokat modellező alegységeként. Ez utóbbi modellel jelenleg számításokat végzek, az eredmények kiértékelése után lesz esedékes az oxigén gázkisülésekben zajló felületi folyamatokkal kapcsolatos kutatásaimat bemutató kézirat véglegesítése.

A félév elején meghívott előadást tartottam *Computationally assisted in-situ measurement of secondary electron emission coefficients in CCPs* címmel a GEC nemzetközi konferencia keretében szervezett workshopon, ami tematikailag a 2019–20-as ÚNKP-ösztöndíj keretében végzett kutatásomhoz kapcsolódott: fázisfelbontott optikai emissziós spektroszkópiai és PIC/MCC szimulációs eredmények kvantitatív összehasonlítása révén meghatároztam az ionok általi effektív elektronkiváltási együtthatót adott paraméterek (nyomás, feszültség) mellett neon gázkisülésekre.

## 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 ([PSST 29 074001](#))

## Tanulmányi tevékenység

A félév során három kurzust végeztem el:

- Klaszterezés hálózatokkal (FIZ/3/064E)
- Elektronrendszerek számítógépes vizsgálata (FIZ/3/091)
- Az érzékelés biofizikája (FIZ/3/010E)

## Konferenciák

- *Gaseous Electronics Conference*, 2020. október 5-9., nemzetközi online konferencia.
  - o Meghívott workshop-előadás: *Computationally assisted in-situ measurement of secondary electron emission coefficients in CCPs*.
  - o Poszter: *The role of electron-induced secondary electrons in low-pressure capacitively coupled Oxygen plasmas*.

- Poszter társszerzője: *Sensitivity analysis of PIC/MCC simulation results on the parameters of a realistic model for electron-surface interaction in low-pressure capacitively coupled radio-frequency discharges*
- Absztrakt benyújtva: Symposium on Application of Plasma Processes, 2021. február 4–5., nemzetközi online konferencia. Előadás: *The role of electron-induced secondary electrons in low-pressure capacitively coupled Oxygen plasmas*.
- *International Online Plasma Seminar* nemzetközi online szeminárium kétheti rendszerességgel (szervező: Ruhr University Bochum, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology).
- *International Group Meeting* nemzetközi online szeminárium kétheti rendszerességgel (résztevők: Ruhr University Bochum, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology és külső szakmai partnereik).
- *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 partnereik).