

**В. В. Гладковський¹, В. Г. Панченко², П. В. Порицький²,
О. А. Федорович², Л. М. Войтенко², Л. М. Свята^{2,*}**

¹ *Національна академія наук України, Київ, Україна*

² *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

*Відповідальний автор: lsvjat@kinr.kiev.ua

ПРО ВПЛИВ МЕТАЛЕВИХ ДОМІШОК НА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ЩІЛЬНОЇ ПЛАЗМИ ІМПУЛЬСНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ РОЗРЯДІВ У ВОДІ

Розглянуто вплив домішок металів на електропровідність щільної плазми імпульсних розрядів у воді. Проведені розрахунки електропровідності ґрунтувалися на методі моментів Греда. Показано, що невелика кількість металевих домішок може суттєво змінити величину коефіцієнта електропровідності плазми порівняно з випадком чистої водяної пари. Виявлено, що металеві домішки можуть спричиняти як збільшення, так і зменшення електропровідності плазми, що пов'язано із процесами міжчастинкових зіткнень та наявністю кластерів.

Ключові слова: щільна плазма, імпульсний розряд, розряд у воді, електропровідність плазми, переріз зіткнення, кластер.

**V. V. Hladkovskiy¹, V. G. Panchenko², P. V. Porytskyi²,
O. A. Fedorovich², L. M. Voitenko², L. M. Sviata^{2,*}**

¹ *National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Corresponding author: lsvjat@kinr.kiev.ua

ON THE INFLUENCE OF METAL IMPURITIES ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE DENSE PLASMA OF PULSE ELECTRIC DISCHARGES IN WATER

The effect of metal impurities on the electrical conductivity of a dense plasma of discharges in water is considered. Conductivity calculations were based on the method of Grad's moments. It is shown that a small amount of metal impurities can significantly change the value of the electrical conductivity coefficient compared to the case of pure water vapor. It was found that metal impurities can cause both an increase and a decrease in the electrical conductivity of the plasma, which is associated with the processes of interparticle collisions and the presence of clusters.

Keywords: dense plasma, pulsed discharge, discharge in water, electrical conductivity of plasma, collision cross-section, cluster.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. P. Šunka. Pulse electrical discharges in water and their applications. *Phys. Plasmas* 8(5) (2001) 2587.
2. B.R. Locke, S.M. Thagard. Analysis and review of chemical reactions and transport processes in pulsed electrical discharge plasma formed directly in liquid water. *Plasma Chem. Plasma Process.* 32(5) (2012) 875.
3. V.A. Zhovtyansky et al. Efficiency of renewable organic raw materials conversion using plasma technology. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 41(12) (2013) 3233.
4. I. Prsyazhnevych et al. Physical features of atmospheric pressure microdischarge system with vortex gas flows. *Open Chemistry* 13 (2025) 420.
5. I. Hirka, O. Živný, M. Hrabovský. Numerical Modelling of Wood Gasification in Thermal Plasma Reactor. *Plasma Chem. Plasma Process.* 37(4) (2017) 947.
6. H. Akiyama, M. Akiyama. Pulsed Discharge Plasmas in Contact with Water and their Applications. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering* 16 (2021) 6.
7. Y. Chai et al. Free and Wire-Guided Spark Discharges in Water: Pre-Breakdown Energy Losses and Generated Pressure Impulses. *Energies* 16(13) (2023) 4932.
8. P.V. Porytskyy, P.D. Starchyk. Influence of metal impurities on the transport properties of multicomponent plasma of underwater discharges. *Ukr. J. Phys.* 61(8) (2016) 709.
9. P. Křenek. Thermophysical properties of H₂O-Ar plasmas at temperatures 400 - 50,000 K and pressure 0.1 MPa. *Plasma Chem. Plasma Process.* 28(1) (2008) 107.
10. J. Aubreton, M.F. Elchinger, J.M. Vinson. Transport coefficients in water plasma: Part I: Equilibrium plasma. *Plasma Chem. Plasma Process.* 29(2) (2009) 149.
11. P. Porytsky et al. On the application of the theory of Lorentzian plasma to calculation of transport properties of multicomponent arc plasmas. *Eur. Phys. J. D* 57(1) (2010) 77.

12. P. Porytsky et al. Transport properties of multicomponent thermal plasmas: Grad method versus Chapman-Enskog method. *Phys. Plasmas* 20(2) (2013) 023504.
13. H. Grad. On the kinetic theory of rarefied gases. *Commun. Pur. Appl. Math.* 2(4) (1949) 331.
14. V.M. Zhdanov. *Transport Processes in Multicomponent Plasma* (London: CRC Press, 2002) 296 p.
15. R.S. Devoto. Transport properties of ionized monoatomic gases. *Phys. Fluids* 9(6) (1966) 1230.
16. R.S. Devoto. Simplified expressions for the transport properties of ionized monoatomic gases. *Phys. Fluids* 10(10) (1967) 2105.
17. K.F. Scheibner, A.U. Hazi, R.J.W. Henry. Electron-impact excitation cross sections for transitions in atomic copper. *Phys. Rev. A* 35(11) (1987) 4869(R).
18. B. Chervy et al. The influence of the cross section of the electron-copper atom collision on the electrical conductivity of Ar-Cu and SF₆-Cu plasmas. *J. Phys. D* 28(10) (1995) 2060.
19. O. Zatsarinny et al. Electron-impact excitation of the (3d¹⁰4s)²S_{1/2}→(3d⁹4s²)²D_{5/2,3/2} transitions in copper atoms. *Phys. Rev. A* 81(6) (2010) 062705.
20. O.A. Fedorovich et al. Decay characteristics of dense high-voltage pulse plasma discharges in water initiated by the electric explosion of iron conductor. *Nucl. Phys. At. Energy* 24(4) (2023) 351. (Ukr)
21. H.E. Wilhelm. Electrical conductivity of nonideal plasma. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 9(2) (1981) 68.
22. G. Norman, A. Valuev. Electrical conductivity of nonideal plasma. *Plasma Physics* 21(6) (1979) 531.
23. V.A. Alekseev, I.T. Iakubov. Non-ideal plasmas of metal vapours. *Phys. Rep.* 96(1) (1983) 1.
24. I.T. Iakubov, V.V. Pogosov. Towards a theory of self-compressed metallic clusters. Model of stabilized jellium. *Physica A* 214(2) (1995) 287.
25. O. Coufal, O. Živný. Composition and thermodynamic properties of thermal plasma with condensed phases. *Eur. Phys. J. D* 61 (2011) 131.
26. O. Coufal, P. Sezemský, O. Živný. Database system of thermodynamic properties of individual substances at high temperatures. *J. Phys. D* 38 (2005) 1265.
27. S. Xue, M. Boulos. Transient heating and evaporation of metallic particles under plasma conditions. *J. Phys. D* 52 (2019) 454002.
28. G.D. Dhamale et al. Modelling and experimental investigations of composition-dependent heat and mass transfer during Cu-Ni alloy nanoparticle synthesis in a transferred arc helium plasma. *J. Phys. D* 55 (2022) 375203.
29. M. Boselli, M. Gherardi, V. Colombo. 3D modelling of the synthesis of copper nanoparticles by means of a DC transferred arc twin torch plasma system. *J. Phys. D* 52 (2019) 444001.
30. A.B. Murphy, D. Uhrlandt. Foundations of high-pressure thermal plasmas. *Plasma Sources Sci. Technol.* 27 (2018) 063001.
31. V. Aubrecht, M. Bartlova, O. Coufal. Radiative emission from air thermal plasmas with vapour of Cu or W. *J. Phys. D* 43 (2010) 434007.
32. B. Chervy. The influence of the presence of tungsten on SF₆ arc plasmas. *J. Phys. D* 29 (1996) 2156.
33. S. Peillon et al. Dust sampling in WEST and tritium retention in tokamak-relevant tungsten particles. *Nuclear Materials and Energy* 24 (2020) 100781.
34. C. Arnas et al. Micron-sized dust and nanoparticles produced in the WEST tokamak. *Nuclear Materials and Energy* 36 (2023) 101471.
35. V.I. Vishnyakov. Ionization balance in low-temperature plasmas with nanosized dust. *Ukr. J. Phys.* 66(4) (2021) 303.
36. V.I. Vishnyakov et al. Formation of particles in welding fume plasmas: Numerical modeling and experiment. *Ukr. J. Phys.* 64(5) (2019) 392.
37. R.S. Cohen, L. Spitzer, Jr., P.McR. Routly. The electrical conductivity of an ionized gas. *Phys. Rev.* 80(2) (1950) 230.
38. L. Spitzer Jr.; R. Härm. Transport phenomena in a completely ionized gas. *Phys. Rev.* 89(5) (1953) 977.
39. V. Zhovtyansky et al. Electric arc I-V modeling and related plasma spectrometry issues. *AIP Advances* 12 (2022) 115115.

Надійшла / Received 29.07.2024