

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДІАГНОСТИКИ ІОНОСФЕРНОЇ ПЛАЗМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІЗОЛЬОВАНОЇ ЗОНДОВОЇ СИСТЕМИ

Інститут технічної механіки

Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: lazuch.dn@gmail.com

Метою роботи є теоретичне обґрунтування можливості визначення концентрацій заряджених частинок іоносферної плазми за окремими вимірюваннями струмів ізолюваної зондової системи в області насичення електронів. Склад іоносферної плазми моделюється іонами двох сортів з істотно різними масами і електронами, що забезпечують квазінейтральність плазми. Ізолювана електрично від корпусу космічного апарата зондова система складається з циліндричних електродів – зонда й опорного електрода. Відношення площ збираючих струм поверхонь опорного електрода і зонда може бути істотно менше вимог теорії одиночного циліндричного зонду. Електроди поперечно обтікаються надзвуковим потоком беззіштовхувальної плазми. Поряд з основною плазмою з двохсортними іонами розглянута модельна плазма з модельними односортними іонами. Маса модельних іонів береться такою, щоб іонний струм насичення на циліндр збігся з іонним струмом насичення в потоці основної плазми.

На основі отриманого раніше асимптотичного розв'язку для струму насичення електронів у плазмі з односортними іонами знайдено розрахункові формули для визначення масового складу іонів і концентрації електронів за вимірюваннями зондових струмів. Погрішності отриманих формул в залежності від геометричних параметрів ізолюваної зондової системи, потенціалів зсуву зонда щодо опорного електрода і точності вимірювань зондових струмів і потенціалів оцінено чисельно та аналітично. Показано, що при певному виборі налаштувань зондової системи і точності зондових вимірювань забезпечується достовірне визначення концентрацій заряджених частинок плазми з іонами двох сортів. Приведено апріорні оцінки впливу погрішностей вимірювань зондових струмів і потенціалів зсуву на достовірність визначення масового складу іонів і концентрації електронів іоносферної плазми.

Ключові слова: двохсортні іони плазми, зондова система з циліндричними електродами, модельні односортні іони, математична модель збирання струму, достовірність визначення іонного складу і концентрації електронів.

1. Boyd R. Langmuir Probes on Spacecraft. In: Plasma Diagnostics. W. Lochte-Holtgreven (Ed.). New York: AIP Press, 1995.
2. Eriksson A. I., Bostrom R., Gill R., Ahlen L., Jansson S.-E., Wahlund J.-E., Andre M., Malkki A., Holtet J. A., Lybekk B., Pedersen A., Blomberg L. G. RPC-LAP: The Rosetta Langmuir Probe Instrument. Space Science Reviews. 2007. V. 128, Issue 1-4. P. 729–744. <https://doi.org/10.1007/s11214-006-9003-3>
3. Andersson L., Ergun R.E., Delory G.T., Eriksson A., Westfall-J., Reed H., McCauly J., Summers D., Meyers D. The Langmuir Probe and Waves (LPW) Instrument for MAVEN. Space Sci Rev. 2015. V. 195. P. 173–198. <https://doi.org/10.1007/s11214-015-0194-3>
4. Ranvier S., Lebreton J.-P. Laboratory measurements of the performances of the Sweeping Langmuir Probe instrument aboard the PICASSO CubeSat. Geosci. Instrum. Method. Data Syst. 2023. V. 12. P. 1–13. <https://doi.org/10.5194/gi-12-1-2023>
5. Chung, P.M., Talbot L., Touryan K.J. Electric Probes in Stationary and Flowing Plasmas. Springer-Verlag, 1975. 150 p. 1975. 150 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-65886-0>
6. IRI. Version: 2020. URL: <https://ccmc.gsfc.nasa.gov/models/IRI~2020/>
7. Lazuchenko D. N., Lazuchenko N. M. Mathematical modeling of probe measurements in a supersonic flow of a four-component collisionless plasma. Teh. Meh. 2020. № 4. P. 97–108. <https://doi.org/10.15407/itm2020.04.097>
8. Lazuchenko D. N., Lazuchenko N. M. Estimation of probe measurements reliability in a supersonic flow of four-component collisionless plasma. Teh. Meh. 2021. № 3. P. 57–69. <https://doi.org/10.15407/itm2021.03.057>
9. Lazuchenko D. N., Lazuchenko N. M. Calculation of the ion current to a conducting cylinder in a supersonic flow of a collisionless plasma. Teh. Meh. 2022. № 3. C. 91–98. <https://doi.org/10.15407/itm2022.03.091>
10. Mott-Smith H., Langmuir I. The theory of collectors in gaseous discharges. Phys. Rev. 1926. V. 28. № 5. P. 727–763. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.28.727>
11. Hoegy W. R., Wharton L. E. Current to a moving cylindrical electrostatic probe. Journal of Applied Physics. 1973. V. 44, No. 12. P. 5365–5371. <https://doi.org/10.1063/1.1662157>
12. Latramboise J. G. Theory of Spherical and Cylindrical Langmuir Probes in a Collisionless Maxwellian Plasma at Rest. Report, No.100. Univ. of Toronto, Institute of Aerospace Studies. 1966. 210 c. <https://doi.org/10.21236/AD0634596>
13. Godard R., Laframboise J. Total current to cylindrical collectors in collision less plasma flow. Space Science. 1983. V. 31, № 3. P. 275–283. [https://doi.org/10.1016/0032-0633\(83\)90077-6](https://doi.org/10.1016/0032-0633(83)90077-6)

14. *Choiniere E.* Theory and experimental evaluation of a consistent steady-state kinetic model for two-dimensional conductive structures in ionospheric plasmas with application to bare electrodynamic tethers in space : Ph.D. dissertation. University of Michigan, 2004. 288 p.

Отримано 26.04.2024,
в остаточному варіанті 25.06.2024