

Д. Н. ЛАЗУЧЕНКОВ, Н. М. ЛАЗУЧЕНКОВ

РОЗРАХУНКИ ІОННОГО СТРУМУ НА ПРОВІДНИЙ ЦИЛІНДР У НАДЗВУКОВОМУ ПОТОЦІ БЕЗЗШТОВХУВАЛЬНОЇ ПЛАЗМИ

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

В основі діагностики потоків низькотемпературної плазми циліндричними зондами лежить класичне співвідношення Ленгмюра для іонного струму на тонкий відносно дебаївського радіуса циліндр. Метою статті є дослідження застосовності співвідношення Ленгмюра для циліндра з радіусом, перевищуючим дебаївський радіус екранування.

Виконано числове моделювання взаємодії провідного циліндра з потоком розрідженої плазми. Циліндр знаходиться під негативним потенціалом щодо плазми. Моделювання вільномолекулярного обтікання проведено на основі двовимірної системи рівнянь Власова–Пуассона. При розрахунку відштовхуючого електричного локально рівноважного самоузгодженого електричного поля використана модель Пуассона–Больцмана в наближенні локально рівноважних електронів і з урахуванням стоку електронів на поверхні циліндра в наближенні центрального поля. Рівняння Власова для іонів і Пуассона–Больцмана для самоузгодженого електричного поля розв'язані на вкладених сітках кінцеворізним методом установлення з розщепленням за фізичними процесами і використанням методу характеристик. Вірогідність отриманих результатів підтверджено розв'язанням відомих модельних задач, порівнянням з результатами розрахунків інших авторів і результатами розв'язання однакових фізичних задач з використанням різних математичних моделей і методів.

Розраховано іонні струми на поперечно обтічний циліндр у залежності від його потенціалу, іонного швидкісного відношення і характерного розміру циліндра відносно дебаївського радіуса екранування. За результатами числового моделювання отримані кількісні оцінки області застосовності класичного співвідношення Ленгмюра для іонного струму на циліндр із радіусом, перевищуючим дебаївський радіус екранування. Отримані результати можуть бути використані в діагностиці надзвуків потоків низькотемпературної розрідженої плазми.

Ключові слова: потік розрідженої неізотермічної плазми, поперечне вільномолекулярне обтікання довгого кругового циліндру, числове моделювання, система рівнянь Власова–Пуассона, розрахунок іонного струму на циліндр.

1. Boyd R. Langmuir Probes on Spacecraft. In: Plasma Diagnostics. W. Lochte-Holtgreven (Ed.). New York: AIP Press, 1995. P. 732–776.
2. 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>
3. 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>
4. Lazuchenkov D. N., Lazuchenkov N. M. Mathematical modeling of probe measurements in a supersonic flow of a four-component collisionless plasma. Technical mechanics. 2020. № 4. P. 97–108. <https://doi.org/10.15407/itm2020.04.097>
5. Lazuchenkov D. N., Lazuchenkov N. M. Estimation of probe measurements reliability in a supersonic flow of four-component collisionless plasma. Technical mechanics. 2021. № 3. P. 57–69. <https://doi.org/10.15407/itm2021.03.057>
6. Godard R., Laframboise J. Total current to cylindrical collectors in collision less plasma flow. Planetary 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)
7. Xu G. Z. The interaction of a moving spacecraft with the ionosphere: Current collection and wake structure : Ph.D. dissertation. York University, 1992. 258 p.
8. 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.
9. Лазученко Д. Н., Лазученко Н. М. Математическое моделирование обтекания проводящего цилиндра сверхзвуковым потоком бесстолкновительной плазмы. Технічна механіка. 2019. №1. С. 63–74. <https://doi.org/10.15407/itm2019.01.063>
10. Альперт Я. Л., Гуревич А. В., Питаевский Л. П. Искусственные спутники в разреженной плазме. М.: Наука, 1964. 382 с.
11. Лазученко Д. Н. Расчет отталкивающего электроны самосогласованного электрического поля вблизи обтекаемого потоком разреженной плазмы цилиндра. Техническая механика. 2012. №4. С. 27–35.

Отримано 8.08.2022,
в остаточному варіанті 29.09.2022