

**Влияние ионизации на формирование войдов в ВЧ-разряде
в условиях микрогравитации***Л. М. Василяк, С. П. Ветчинин, Д. Н. Поляков*

Представлен анализ формирования войда в установке ПКЗ в пылевой плазме с частицами меламин формальдегида диаметром 3,4 мкм в ВЧ-разряде в аргоне при давлении 12–50 Па в условиях микрогравитации на МКС. Однородное состояние плазмы удаётся получить только при напряжении, близком к напряжению погасания разряда. Наложение низкочастотного напряжения с частотой 20–50 Гц стабилизирует состояние пылевой плазмы и сдвигает порог образования войда в сторону более высоких ВЧ-напряжений. Показано, что образование войда связано с нелокальной ионизацией плазмы в центре разряда быстрыми электронами, которые нагреваются в приэлектродных слоях.

Ключевые слова: пылевая плазма, войд, ВЧ-разряд, микрогравитация.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-5-11-18

Василяк Леонид Михайлович, гл.н.с, д.ф.-м.н.

E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru

Ветчинин Сергей Петрович, с.н.с., к.ф.-м.н.

Поляков Дмитрий Николаевич, с.н.с.

Объединенный институт высоких температур РАН.

125412, Россия, Москва, ул. Ижорская, 13, стр. 2.

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2022 г.

© Василяк Л. М., Ветчинин С. П., Поляков Д. Н., 2022

ЛИТЕРАТУРА

1. Khrapak A. G., Molotkov V. I., Lipaev A. M., Zhukhovitskii D. I., Naumkin V. N., Fortov V. E., Petrov O. F., Thomas H. M., Khrapak S. A., Huber P., Ivlev A., Morfill G. // *Contrib. Plasma Phys.* 2016. Vol. 56. № 3–4. P. 253.
2. Fortov V. E., Morfill G. E. *Complex and Dusty Plasmas: From Laboratory to Space.* – CRC Press, 2010.
3. Lipaev A. M., Khrapak S. A., Molotkov V. I., Morfill G. E. *et al.* // *Phys. Rev. Lett.* 2007. Vol. 98. P. 265006.
4. Tsytoich V. N., Morfill G. E., Konopka U., Thomas H. // *New Journal of Phys.* 2003. Vol. 5. P. 1.
5. Tsytoich V. N., Vladimirov S. V., Morfill G. E. // *Phys. Rev. E.* 2004. Vol. 70. P. 066408.
6. Цытович В. Н., Владимиров С. В., Морфилл Г. Е. // *ЖЭТФ.* 2006. Т. 129. Вып. 2. С. 378.
7. Tsytoich V. N., Vladimirov S. V., Morfill G. E., Goree J. // *Phys. Rev. E.* 2001. Vol. 63. P. 056609.
8. Samsonov D. *et al.* // *Phys. Rev. E.* 2003. Vol. 67. P.

036404.

9. Балабанов В. В., Василяк Л. М., Ветчинин С. П., Нефедов А. П., Поляков Д. Н., Фортвов В. Е. // *ЖЭТФ.* 2001. Т. 119. Вып. 1. С. 99.
10. Shumova V. V., Polyakov D. N., Vasilyak L. M. // *Plasma Phys Rep+.* 2019. Vol. 45. № 3. P. 285.
11. Shumova V. V., Polyakov D. N., Vasilyak L. M. // *Plasma Sources Sci T.* 2017. Vol. 26. P. 035011.
12. Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З. *Физика плазмы для физиков.* – М.: Атомиздат, 1979.
13. Akdim M. R., Goedheer W. J. // *Phys. Rev. E.* 2001. Vol. 65. P. 015401.
14. Gozadinos G., Ivlev A. V., Boeuf J. P. // *New J. Phys.* 2003. Vol. 5. P. 32.
15. Boeuf J. P., Pitchford L. C. // *Phys. Rev. E.* 1995. Vol. 51. P. 1376.
16. Kaganovitch I. D., Tsendin L. D. // *IEEE Trans. Plasma Sci.* 1992. Vol. 20. № 2. P. 62.
17. Tsendin L. D. // *Plasma Sources Science and Technology.* 1995. Vol. 4. № 2. P. 200.
18. Kolobov V. I., Godyak V. A. // *IEEE Trans. Plasma Sci.* 1995. Vol. 23. № 4. P. 503.
19. Goedheer W. J., Land V. // *Plasma Phys. Control. Fusion.* 2008. Vol. 50. P. 124022.
20. Смирнов А. С. ВЧ разряды низкого и среднего давления. «Энциклопедия низкотемпературной плазмы» Вводный том II / под ред. Фортова В. Е. – М.: Наука, 2000. С. 63.
21. Смирнов А. С., Орлов К. Е. // *Письма в ЖТФ.* 1997. Т. 23. № 1. С. 39.
22. Райзер Ю. П., Шнейдер М. Н., Яценко Н. А. *Высокочастотный емкостной разряд.* – М.: Наука Физматлит, изд. МФТИ, 1995.

23. Godyak V. A., Piejak R. B., Alexandrovich B. M. // IEEE Trans. Plasma Sci. 1991. Vol. 19. P. 660.
 24. Цытович В. Н. // УФН. 1997. Т. 167. С. 57.

25. Kretschmer M., Khrapak S. A., Zhdanov S. K., Thomas H. M., Morfill G. E. et al. // Phys. Rev. E. 2005. Vol. 71. P. 056401.

PACS: 52.27. Lw

Effect of ionization on void formation in an RF discharge under microgravity conditions

L. M. Vasilyak, S. P. Vetchinin, D. N. Polyakov

Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences
 Bld. 2, 13 Izhorskaya str., Moscow, 125412, Russia
 E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru

Received September 25, 2022

An analysis of the formation of a void in the PK3 setup in a dusty plasma with melamine-formaldehyde particles $3.4\ \mu\text{m}$ in diameter in an RF discharge in argon at a pressure of 12–50 Pa under microgravity conditions on the ISS is presented. The uniform state of the plasma can only be obtained at a voltage close to the discharge extinction voltage. The application of a low-frequency voltage of 20–50 Hz stabilizes the state of the dusty plasma and shifts the void formation threshold towards higher RF voltages. It is shown that the formation of a void is associated with non-local ionization of the plasma at the center of the discharge by fast electrons, which are heated in the near-electrode layers.

Keywords: dusty plasma, void, RF discharge, microgravity.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-5-11-18

REFERENCES

1. A. G. Khrapak, V. I. Molotkov, A. M. Lipaev, D. I. Zhukhovitskii, V. N. Naumkin, V. E. Fortov, O. F. Petrov, H. M. Thomas, S. A. Khrapak, P. Huber, A. Ivlev, and G. Morfill, *Contrib. Plasma Phys.* **56**, 253 (2016).
2. V. E. Fortov and G. E. Morfill, *Complex and Dusty Plasmas: From Laboratory to Space*. (CRC Press, 2010).
3. A. M. Lipaev, S. A. Khrapak, V. I. Molotkov, G. E. Morfill et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 265006 (2007).
4. V. N. Tsytovich, G. E. Morfill, U. Konopka, and H. Thomas, *New Journal of Phys.* **5**, 1 (2003).
5. V. N. Tsytovich, S. V. Vladimirov, and G. E. Morfill, *Phys. Rev. E.* **70**, 066408 (2004).
5. V. N. Tsytovich, S. V. Vladimirov, and G. E. Morfill, *JETP* **102**, 334 (2006).
7. V. N. Tsytovich, S. V. Vladimirov, G. E. Morfill, and J. Goree, *Phys. Rev. E.* **63**, 056609 (2001).
8. D. Samsonov et al., *Phys. Rev. E.* **67**, 036404 (2003).
9. V. V. Balabanov, L. M. Vasilyak, S. P. Vetchinin, A. P. Nefedov, D. N. Polyakov, and V. E. Fortov, *Journal of Experimental and Theoretical Physics* **92**, 86 (2001).
10. V. V. Shumova, D. N. Polyakov, L. M. Vasilyak, *Plasma Phys Rep+* **45**, 285 (2019).
11. V. V. Shumova, D. N. Polyakov, and L. M. Vasilyak, *Plasma Sources Sci T* **26**, 035011 (2017).
12. L. A. Artsimovich and R. Z. Sagdeev, *Plasma Physics for Physicist*. (Atomizdat Publisher, Moscow, 1979).
14. G. Gozadinos, A. V. Ivlev, and J. P. Boeuf, *New J. Phys.* **5**, 32 (2003).
15. J. P. Boeuf and L. C. Pitchford, *Phys. Rev. E* **51**, 1376 (1995).
16. I. D. Kaganovitch and L. D. Tsendin, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **20** (2), 62 (1992).
17. L. D. Tsendin, *Plasma Sources Science and Technology* **4** (2), 200 (1995).

18. V. I. Kolobov and V. A. Godyak, IEEE Trans. Plasma Sci. **23**, 503 (1995).
19. W. J. Goedheer and V. Land, Plasma Phys. Control. Fusion, **50**, 124022 (2008).
20. *Encyclopedia of Low-Temperature Plasma* (edited by V. E. Fortov). Introductory Volume II. P. 63 (Nauka, Moscow, 2000) [in Russian].
21. A. S. Smirnov and K. E. Orlov, JETP Letters **23**, 39 (1997).
22. Yu. P. Raizer, M. N. Shneider, and N. A. Yatsenko, *Radio-Frequency Capacitive Discharges*. (CRC Press, 2019).
23. V. A. Godyak, R. B. Piejak, and B. M. Alexandrovich, IEEE Trans. Plasma Sci. **19**, 660 (1991).
24. V. N. Tsytovich, Physics-Uspekhi **40**, 53 (1997).
25. M. Kretschmer, S. A. Khrapak, S. K. Zhdanov, H. M. Thomas, G. E. Morfill et al., Phys. Rev. E **71**, 056401 (2005).