

## Измерение поглощаемой СВЧ-мощности при ЭЦР-нагреве плазмы в стеллараторе Л-2М

С. Е. Гребенщиков, Н. К. Харчев, Д. Г. Васильков

*Приведены результаты измерения поглощаемой плазмой мощности в стеллараторе Л-2М при электронном циклотронном резонансном (ЭЦР) нагреве плазмы на второй гармонике гирочастоты. Водородная плазма создавалась и нагревалась в вакуумной камере стелларатора при резонансном поглощении СВЧ-мощности в режиме импульсно-периодической работы гиротронов. Полная энергия плазменного тороидального плазменного шнура и величина поглощенной мощности измерялись с помощью диамагнитной диагностики. Проведен учет экранирующего влияния металлической вакуумной камеры на измерение диамагнитных сигналов. Установлено, что при центральном ЭЦР-нагреве в плазме поглощается до 90 % мощности инжектированного гиротронного пучка, что согласуется с существующими теоретическими оценками.*

*Ключевые слова:* высокотемпературная плазма, магнитное удержание, стелларатор, электронно-циклотронный нагрев, диагностика плазмы, диамагнитные измерения.

**Ссылка:** Гребенщиков С. Е., Харчев Н. К., Васильков Д. Г. // Прикладная физика. 2019. № 2. С. 5.  
**Reference:** S. E. Grebenschikov, N. K. Kharchev, and D. G. Vasilkov, Prikl. Fiz., No. 2, 5 (2019).

---

Гребенщиков Станислав Евгеньевич<sup>1</sup>, зав. лаб.,  
к.ф.-м.н.

Харчев Николай Константинович<sup>1</sup>, зав. лаб., к.ф.-м.н.

Васильков Дмитрий Григорьевич<sup>1,2</sup>, с.н.с., к.ф.-м.н.

<sup>1</sup> Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН.

Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38.

Тел. +7(499) 135-41-48.

E-mail: greben@fpl.gpi.ru

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет  
им. Н. Э. Баумана.

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1.

Статья поступила в редакцию 25 января 2019 г.

© Гребенщиков С. Е., Харчев Н. К., Васильков Д. Г.,  
2019

*Работа выполнена по Программе РАН  
«Конденсированное вещество и плазма  
при высоких плотностях энергии».*

*Авторы благодарят А. С. Сахарова за  
полезные обсуждения работы.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тамм И. Е., Сахаров А. Д. Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Т. 1. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1958
2. Арцимович Л. А. / Plasma Phys. and Contr. Nuclear Fusion Res. IAEA. Vienna. 1969. Vol. 1. P. 3.
3. Spitzer L. // Phys. Fluids. 1958. Vol. 1. No. 4. P. 253.
4. Spitzer L. // Plasma Physics and Contr. Nuclear Fusion Res., IAEA, Vienna, 1966. Vol. 1. P. 3.
5. Abrakov V. V., Akulina D. K., Andryukhina E. D., Batanov G. M., Berezhetskii M. S., Danilkin I. S., Donskaya N. P., Fedyanin O. I., Gladkov G. A., Grebenschikov S. E., Harris J. H., Kharchev N. K., Kholnov Yu. V., Kolik L. V., Kovrizhnykh L. M., Larionova N. F., Letunov A. A., Likin K. M., Lyon J. F., Meshcheryakov A. I., Nechaev Yu. I., Petrov A. E., Sarksyian K. A., Sbitnikova I. S. // Nuclear Fusion. 1997. Vol. 37. No. 2. P. 233.
6. Batanov G. M., Belousov V. I., Bondar' Yu. F., Borzosekov V. D., Vasil'kov D. G., Grebenschikov S. E., Ivannikov I. A., Kolik L. V., Konchekov E. M., Malakhov D. V., Matveev N. V., Meshcheryakov A. I., Petrov A. E., Sarksyian K. A., Skvortsova N. N., Stepa-

- khin V. D., Kharchev N. K., Khol'nov Yu. V., Tai E. M. // Plasma Physics Reports. 2013. Vol. 39. No. 13. P. 1088.
7. Сахаров А. С., Терещенко М. А. // Физика плазмы. 2002. Т. 28. Вып. 7. С. 584.
8. Сахаров А. С. // Физика плазмы. 2019. Т. 45. Вып. 4. С. 291.
9. Акулина Д. К., Батанов Г. М., Бережецкий М. С., Воронов Г. С., Гладков Г. А., Гребенищikov С. Е., Донская Н. П., Колик Л. В., Ларионова Н. Ф., Мецьяков А. И., Сарксян К. А., Федянин О. И., Харчев Н. К., Хольнов Ю. В., Щенетов С. В. // Физика плазмы. 2002. Т. 28. Вып. 1. С. 9.
10. Разумова К. А. // Атомная энергия. 1966. Т. 20. Вып. 6. С. 459.
11. Pustovitov V. D. // Plasma Phys. Control Fusion. 2010. Vol. 52. P. 085005.
12. Андрюхина Э. Д., Федянин О. И. // Физика плазмы. 1977. Т. 3. Вып. 4. С. 792.
13. Трубников Б. А., Бажанова А. Е. Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Т. 3. – М.: Издательство академии наук СССР, 1958.
14. Brossier P., Costley A.E., Komm D.S., Ramponi G., Tamor S. / Plasma Phys. and Contr. Nuclear Fusion Res. 1977. IAEA. Vienna. Vol. 1. P. 409.
15. Hosea J., Arunasalam V. // Cano R. Phys. Rev. Letters. 1977. Vol. 39. P. 408.
16. Equipe TFR // Nuclear Fusion. 1978. Vol. 18. P. 647.
17. Batanov G. M., Berezhetskii M. S., Borzosekov V. D., Grebenshchikov S. E., Grishina I. A., Ivanov V. A., Kharchev N. K., Kharchevsky A. A., Kholnov Yu. V., Kolik L. V., Konchekov E. M., Letunov A. A., Logvinenko V. P., Malakhov D. V., Meshcheryakov A. I., Petrov A. E., Sarksyian K. A., Skvortsova N. N., Stepakhin V. D., Vasilkov D. G., Vafin I. Yu. // 44<sup>th</sup> EPS Conference on Plasma Physics, Belfast, Northern Ireland, P2.154, <http://OCS.CIEMAT.ES/EPS2017/PAP/pdf/P2.154.pdf>.
18. Батанов Г. М., Борзосексов В. Д., Васильков Д. Г., Вафин И. Ю., Воронова Е. В., Гребенищikov С. Е., Гришина И. А., Иванов В. А., Колик Л. В., Кончечков Е. М., Летунов А. А., Логвиненко В. П., Малахов Д. В., Мецьяков А. И., Петров А. Е., Прокудина А. А., Сарксян К. А., Скворцова Н. Н., Степахин В. Д., Харчев Н. К., Харчевский А. А., Хольнов Ю. В., Щенетов С. В. / XLV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС. 2018. Тезисы докладов. С. 72.

PACS: 52.55.Hc; 52.50.Sw; 52.70.-m.

## Measurement of the absorbed microwave power during plasma ECR heating in the L-2M stellarator

*S. E. Grebenshchikov<sup>1</sup>, N. K. Kharchev<sup>1</sup>, and D. G. Vasilkov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences  
38 Vavilov str., Moscow, 119991, Russia

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University  
5/1 Baumanskaya 2-nd str., Moscow, 105005, Russia  
E-mail: greben@fpl.gpi.ru

Received January 25, 2019

*The results of the absorbed power measurements in the L-2M stellarator during electron cyclotron resonance (ECR) plasma heating on the gyro frequency second harmonic are presented. Hydrogen plasma was created and heated in the vacuum chamber of the stellarator at resonant absorption of microwave power in the mode of pulsed periodic operation of gyrotrons. The total energy of the toroidal plasma cord and the absorbed power were measured by diamagnetic diagnostics. The analysis of the shielding effect of the metal vacuum chamber on the meas-*

**urement of diamagnetic signals is carried out. It is established that at the central ECR heating in plasma up to 90% of the power of the injected gyrotron beam is absorbed, which is consistent with the existing theoretical estimates.**

**Keywords:** high-temperature plasma, magnetic confinement, stellarator, electron-cyclotron heating, plasma diagnostics, diamagnetic measurements.

## REFERENCES

1. I. E. Tamm and A. D. Sakharov, *Plasma Physics and Problem of Controlled Thermonuclear Reactions Vol. 1.* (Izdat. Akademii Nauk SSSR, Moscow, 1958) [in Russian].
2. L. A. Artsimovich, in *Plasma Phys. and Contr. Nuclear Fusion Res.*, Vol. 1 (IAEA, Vienna, 1969).
3. L. Spitzer, *Phys. Fluids* **1**, 253 (1958).
4. L. Spitzer, in *Plasma Physics and Contr. Nuclear Fusion Res.*, Vol. 1. (IAEA, Vienna, 1966).
5. V. V. Abrakov, D. K. Akulina, E. D. Andryukhina, G. M. Batanov, M. S. Berezhetskii, I. S. Danilkin, N. P. Donskaya, O. I. Fedyanin, G. A. Gladkov, S. E. Grebenshchikov, J. H. Harris, N. K. Kharchev, Yu. V. Kholnov, L. V. Kolik, L. M. Kovrizhnykh, N. F. Larionova, A. A. Letunov, K. M. Likin, J. F. Lyon, A. I. Meshcheryakov, Yu. I. Nechaev, A. E. Petrov, K. A. Sarksyian, and I. S. Sbitnikova, *Nuclear Fusion* **37**, 233 (1997).
6. G. M. Batanov, V. I. Belousov, Yu. F. Bondar', V. D. Borzosekov, D. G. Vasil'kov, S. E. Grebenshchikov, I. A. Ivannikov, L. V. Kolik, E. M. Konchekov, D. V. Malakhov, N. V. Matveev, A. I. Meshcheryakov, A. E. Petrov, K. A. Sarksyian, N. N. Skvortsova, V. D. Stepakhin, N. K. Kharchev, Yu. V. Khol'nov, and E. M. Tai, *Plasma Physics Reports* **39**, 1088 (2013).
7. A. S. Sakharov and M. A. Tereshchenko, *Plasma Physics Reports* **28**, 539 (2002).
8. A. S. Sakharov, *Plasma Physics Reports* **45**, (2019, in print).
9. D. K. Akulina, G. M. Batanov, M. S. Berezhetskii, G. S. Voronov, G. A. Gladkov, S. E. Grebenshchikov, N. P. Donskaya, L. V. Kolik, N. F. Larionova, A. I. Meshcheryakov, K. A. Sarksyian, O. I. Fedyanin, N. K. Kharchev, Yu. V. Khol'nov, and S. V. Shchepetov, *Plasma Physics Reports* **28**, 7 (2002).
10. K. A. Razumova, *Soviet Atomic Energy* **20**, 531 (1966).
11. V. D. Pustovitov, *Plasma Phys. Control Fusion* **52**, 085005 (2010).
12. E. D. Andryukhina and O. I. Fedyanin, *Soviet Journal of Plasma Physics* **3**, 792 (1977).
13. B. A. Trubnikov and A. E. Bazhanova, *Plasma Physics and Problem of Controlled Thermonuclear Reactions Vol. 3.* (Izdat. Akademii Nauk SSSR, Moscow, 1958) [in Russian].
14. P. Brossier, A. E. Costley, D. S. Komm, G. Ramponi, and S. Tamor, in *Plasma Phys. and Contr. Nuclear Fusion Res.*, Vol. 1 (IAEA Vienna, 1977).
15. J. Hosea, V. Arunasalam, and R. Cano, *Phys. Rev. Letters*, **39**, 408 (1977).
16. Equipe TFR, *Nuclear Fusion* **18**, 647 (1978).
17. G. M. Batanov, M. S. Berezhetskii, V. D. Borzosekov, S. E. Grebenshchikov, I. A. Grishina, V. A. Ivanov, N. K. Kharchev, A. A. Kharchevsky, Yu. V. Kholnov, L. V. Kolik, E. M. Konchekov, A. A. Letunov, V. P. Logvinenko, D. V. Malakhov, A. I. Meshcheryakov, A. E. Petrov, K. A. Sarksyian, N. N. Skvortsova, V. D. Stepakhin, D. G. Vasilkov, and I. Yu. Vafin, in *Proc. 44<sup>th</sup> EPS Conference on Plasma Physics*, (Belfast, Northern Ireland, P2.154) [http://OCS.CIEMAT.ES/EPS 2017 PAP/pdf/ P2.154.pdf](http://OCS.CIEMAT.ES/EPS%2017/PAP/pdf/P2.154.pdf).
18. G. M. Batanov, V. D. Borzosekov, D. G. Vasilkov, et al., in *Proc. XLV International conference on plasma physics and controlled fusion* (Zvenigorod, 2018), p. 72.