Первые эксперименты по исследованию генерации отрицательных ионов водорода при использовании непрерывного ЭЦР разряда на установке GISMO [[1]](#footnote-1)\*)

Лапин Р.Л., Скалыга В.А., Изотов И.В., Голубев С.В., Боханов А.Ф., Киселёва Е.М., Выбин С.С.

Институт Прикладной Физики Российской Академии Наук, Нижний Новгород, РФ

Источники отрицательных ионов водорода (H-) широко используются, например, для инжекции ионных пучков в циклотроны и накопительные кольца и являются составной частью инжекторов нейтрального пучка для нагрева плазмы в термоядерных установках. Настоящая работа посвящена двухстадийной генерации ионов Н- в плазменном объёме. Первая стадия состоит в возбуждении высоких колебательных уровней молекул водорода в результате взаимодействия c т.н. “горячими” электронами (*E* ≈ 30 - 100 эВ), а вторая — в диссоциативном электронном прилипании “холодных” электронов (*E* ≤ нескольких эВ) к возбужденным молекулам. Проведённые исследования по объёмной генерации ионов Н- на базе квазигазодинамической плазмы импульсного ЭЦР разряда, поддерживаемого СВЧ излучением гиротрона, показали перспективность данного подхода и возможность получения пучков отрицательных ионов водорода с плотностью тока до 80 мА/см2 [2]. Важным индикатором происходящих в низкотемпературной водородной плазме процессов является излучение вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) диапазона [3]. Его исследование позволяет оценивать характеристики плазмы и проводить оптимизацию плазменного источника отрицательных ионов. Были проведены первичные исследования ВУФ излучения плазмы импульсного ЭЦР разряда, продемонстрировавшие возможность применения метода для оптимизации генерации ионов Н- [4].

В работе представлены результаты первых экспериментов по исследованию объёмной генерации отрицательных ионов водорода с использованием непрерывного ЭЦР разряда с квазигазодинамическим режимом удержания плазмы, поддерживаемой излучением гиротрона (28 ГГц/10 кВт) и удерживаемой в системе из двух последовательно состыкованных магнитных ловушек: пробкотрона и каспа. Плазма зажигалась в первой ловушке в условиях ЭЦР резонанса и перетекала во вторую сквозь металлическую сетку, предотвращавшую распространение СВЧ излучения во вторую ловушку, что позволило реализовать две пространственно разнесённые стадии объёмного механизма генерации ионов Н-. Было проведено исследование ВУФ излучения плазмы вдоль оси системы в трёх диапазонах: линии Lyɑ (122 ± 10 нм), полосе Лаймана (160 ± 10 нм) и молекулярном континууме (180 ± 20 нм).

Исследование ВУФ излучения плазмы позволило проанализировать параметры плазмы и оптимизировать условия генерации отрицательных ионов водорода. Была проведена оптимизация системы экстракции и объёма зоны генерации Н-. Были определен оптимум по параметрам системы: давления и мощности гиротрона, получена максимальная плотность тока отрицательных ионов водорода *j* = 44 мА/см2 в непрерывном режиме.

Литература

1. R.L. Lapin, I.V. Izotov, V.A. Skalyga, S.V. Razin, R.A. Shaposhnikov and O. Tarvainen. Gasdynamic ECR ion source for negative ion production. J Instrum, 13:C12007–1–8, 2018.
2. J. Komppula, O. Tarvainen, S. Lätti, T. Kalvas, H. Koivisto, V. Toivanen and P. Myllyperkiö. VUV-diagnostics of a filament-driven arc discharge H- ion source. AIP Conf Proc., 1515:66–73, 2013.
3. R.L. Lapin, V.A. Skalyga, I. Izotov, S.V. Razin, R.A. Shaposhnikov, S.S. Vybin, A.F. Bokhanov, M.Yu. Kazakov and O. Tarvainen. Study of gasdynamic electron cyclotron resonance plasma vacuum ultraviolet emission to optimize negative hydrogen ion production efficiency. Rev. Sci. Instrum., 91: 013517, 2020.
1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLIX/Lt/en/EZ-Lapin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)