

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Водопьянова Александра Валентиновича  
на тему: «ЭЛЕКТРОННО-ЦИКЛОТРОННЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ  
РАЗРЯД, ПОДДЕРЖИВАЕМЫЙ МИЛЛИМЕТРОВЫМ  
ИЗЛУЧЕНИЕМ: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ» по  
специальности 01.04.08 - «физика плазмы»**

Диссертация А. В. Водопьянова посвящена исследованию электронно-циклотронного разряда в зеркальной магнитной ловушке и возможностям их практического применения. Такие разряды активно исследовались еще на начальной стадии исследований в области термоядерного синтеза, и до сих пор они используются в современных вариантах различных типах пробкотронов. Область применения таких разрядов к настоящему времени существенно расширилась, и их применение, например, для создания мощных источников многозарядных ионов, плазмохимических реакторов высокой мощности, в устройствах для разделения изотопов существенно поднимает интерес к таким разрядам.

Работа Водопьянова, в которой для генерации и нагрева ЭЦР-плазм используются уникальные мощные гиротроны миллиметрового диапазона является значительным продвижением в данной области исследований. Их применение позволило повысить на порядок поднять плотность многозарядных ионов в плазме по сравнению с обычными ионными источниками и осуществить дополнительную многократную ионизацию ионов широкого круга элементов. Автор продемонстрировал применение ЭЦР разряда для газовой эпитаксии, получив, в частности, высококачественные пленки нитрида индия рт рекордных скоростях роста.

Большой интерес вызывает четвертая глава диссертации, посвященная генерации мягкого рентгеновского излучения в плазме тяжелых элементов с использованием ЭЦР плазмы подогреваемой 100-киловаттным гиротроном. Достигнутая эффективность более 10% в диапазоне длин волн излучения вблизи 100 ангстрем впечатляет. Будет интересно реализовать предложение

автора о создании непрерывного источника мягкого рентгеновского излучения для литографии на основе ЭЦР.

В целом, судя по автореферату, работа выполнена на высоком научном уровне, экспериментальные результаты достоверны. Они опубликованы в ведущих научных журналах и хорошо известны научной общественности. С моей точки зрения, при развитии исследований на основе полученных А. В. Водопьяновым результатов при переходе в область еще более коротких длин волн, терагерцовому диапазону, в ряде случаев (например, при генерации мягкого рентгеновского излучения) могут быть достигнуты еще более впечатляющие результаты. Недостатков в автореферате, за исключением пропущенного слова в п. 6 на стр. 6, я не обнаружил.

На основании автореферата можно сделать вывод, что в диссертации решена научная проблема, имеющая важное значение как для получения фундаментальных знаний о низкотемпературной плазме, так и для создания на их основе новых технических устройств с повышенными параметрами. Диссертация А. В. Водопьянова «Электронно-циклотронный резонансный разряд, поддерживаемый миллиметровым излучением: физические основы и приложения» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.08 - «физика плазмы, а сам диссертант присуждения этой степени.

Князев Борис Александрович  
Доктор физико-математических наук, профессор  
Профессор кафедры общей физики физического факультета  
Новосибирского государственного университета  
1 ноября 2016 г.

Подпись доктора физико-математических наук, профессора  
Князева Бориса Александровича заверяю.

Ученый секретарь НГУ,  
кандидат химических наук  
Е. А. Тарабан

2 ноября 2010 г.

