

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Павлова Юрия Сергеевича о диссертации Рыбакова Ивана Викторовича «Физическое обоснование нормально проводящего ускоряющего резонатора для интенсивного линейного ускорителя ионов водорода», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертация И.В. Рыбакова посвящена разработке эскизного проекта ускоряющего резонатора на основе бипериодической структуры Cut Disk Structure (CDS), применимого в современных линейных ускорителях (ЛУ) ионов водорода на энергии до 1 ГэВ на примере первого резонатора основной части линейного ускорителя ионов водорода ИЯИ РАН. В работе приводится обоснование применимости структуры CDS для первого резонатора основной части ЛУ ИЯИ РАН, оптимизация ее параметров, рассматривается вопрос объединения четырех секций с мостовыми устройствами.

Актуальность темы диссертации заключается в том, что в современных условиях постройка новых линейных ускорителей ионов водорода на энергию до 1 ГэВ и высоким средним током пучка связана со значительными материальными затратами. В этой связи проводится модернизация и ремонт действующих установок, построенных в 1970-х – 2000-х годах. В случае необходимости полной замены резонатора основной части, состоящего из секций и мостовых устройств, рассматриваются как апробированные в мировой практике бипериодические структуры, так и новые разработки. Одной из таких разработок является структура CDS, ранее применявшаяся в ЛУ электронов DESY PITZ в Германии. Ее характеристики в сравнении с существующими аналогами обуславливают практический

интерес ее применения для замены первого резонатора основной части ЛУ ИЯИ РАН. У действующего резонатора на основе структуры с шайбами и диафрагмами зафиксирована существенная деградация параметров, ограничивающая применение ЛУ для пучков с высоким средним током.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Ее объем составляет 83 страницы, включая 43 рисунка и 15 таблиц. Список литературы содержит 56 наименований.

Во введении обосновывается актуальность работы, сформулированы цели и задачи работы, приведены научная новизна и практическая значимость диссертации.

В первой главе приводится сравнение характеристик ускоряющих структур, как применявшихся ранее в ЛУ ионов водорода, так и новой разработки - структуры CDS. Сравняются электродинамические характеристики структур, приводятся результаты моделирования связанных тепломеханических процессов с использованием тестовых вариантов каналов охлаждения. Для структуры CDS рассмотрены три варианта каналов охлаждения и сделан вывод о достаточности использования только внутренних каналов. На основании сравнения характеристик структура CDS была выбрана как оптимальный вариант для дальнейшей проработки эскизного проекта резонатора.

Вторая глава посвящена оптимизации характеристик структуры CDS для ее применения в первом резонаторе основной части ЛУ ИЯИ РАН. Исходя из мировой практики проведена унификация основных геометрических размеров структуры для четырех секций с целью снижения стоимости изготовления резонатора. Описана методика расчета влияния отклонения геометрических размеров на величины частот ускоряющей моды, моды связи и коэффициент связи. Данная методика позволяет определить оптимальный допуск изготовления структуры, ее преимуществом является

необходимость только трех численных расчетов частотных характеристик. На основе результатов аналитической оценки и численного моделирования сделан вывод о возможности возникновения вторично-электронного резонансного разряда (ВЭРР) на рабочем уровне поля в CDS для ИЯИ РАН, при этом точность методики численного моделирования подтверждается сравнением ее результатов с экспериментальными данными, полученными на действующем резонаторе CDS booster ускорителя DESY PITZ в Германии. Для подавления ВЭРР предложена апробированная методика, позволяющая увеличить напряжение в зазоре ячейки связи CDS сверх уровня возникновения разряда. Описана методика настройки структуры CDS до пайки секций и контроля качества ее частотных характеристик.

В третьей главе приводится реализация методики моделирования на основе многомодового приближения, позволяющей рассчитывать характеристики полной сборки резонатора из секций, связанных мостовыми устройствами, с высокой точностью и с задействованием минимальных вычислительных ресурсов. Точность методики обосновывается сравнением ее результатов с результатами численного моделирования упрощенной тестовой сборки из отрезка секции, соединенного с волноводом. Приведены результаты моделирования настройки узла соединения секций и мостовых устройств. Для снижения потерь мощности в мостовых устройствах резонатора предложено использование модифицированной переходной части волновода со ступенчатым уменьшением его толщины, что позволяет получить расчетный уровень потерь в мостовых устройствах ниже проектной величины для существующего первого резонатора основной части ЛУ ИЯИ РАН.

В заключении приводится обоснование на основе проведенных этапов работы и сделанных выводах общего вывода о применимости структуры CDS для интенсивных ЛУ ионов водорода и в частности для замены первого резонатора основной части ЛУ ИЯИ РАН.

Научная новизна работы

1. Обоснована применимость структуры CDS для резонаторов основной части интенсивных ЛУ ионов водорода, в частности первого резонатора основной части ЛУ ИЯИ РАН

2. Описывается новая методика для расчета влияния смещения геометрических размеров структуры на ее частотные характеристики. Ее преимуществом является необходимость проведения только трех численных расчетов собственных частот структуры.

3. На основе многомодового приближения предложена методика моделирования полной сборки резонатора из секций и мостовых устройств. Данная методика оперирует интегральными характеристиками отдельных узлов резонатора и позволяет рассчитывать его характеристики без использования значительных вычислительных ресурсов. Ее точность подтверждается сравнением ее результатов с результатами численного моделирования тестовой сборки с использованием апробированного программного обеспечения.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что приведенные результаты показывают применимость новой бипериодической структуры CDS в резонаторах основной части интенсивных ЛУ ионов водорода. Она не уступает по электродинамическим характеристикам существующим аналогам, благодаря меньшим поперечным размерам затраты на изготовление резонатора будут существенно снижены.

Достоверность приведенных результатов подтверждается как использованием для численного моделирования апробированного программного обеспечения, так и сравнением его результатов с аналитическими оценками и экспериментальными данными.

Апробация результатов работы

Результаты работы были представлены на международных конференциях ЛаПЛАЗ в НИЯУ МИФИ, российских конференциях RuRAS в

Санкт-Петербурге, Протвино, и международном семинаре памяти В.П. Саранцева в Алуште.

Основные результаты диссертации опубликованы в 7 печатных работах, из которых 2 статьи – в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК РФ, 2 статьи опубликованы в периодических изданиях, индексируемых Scopus.

Замечания к диссертации

1. На странице 4 в разделе введение сказано, что в ускорителях ионов водорода присутствует ограничение на максимальный импульсный ток пучка в ~50 мА, вызванное соображениями радиационной безопасности. При этом не указаны ограничения на частоту повторения импульсов. Радиационная безопасность зависит от величины среднего тока, которая определяется как величиной импульсного тока, так и частотой повторения импульсов.

2. В пункте «Методология и методы исследования» введения указано, что проверка результатов численного моделирования проводилась с помощью их сравнения с известными аналитическими приближениями, оценками. При этом точно не указано какими известными аналитическими приближениями, кем были проведены оценки, где и при каких допусках параметров. Не приведены ссылки на использованные оценки и приближения.

3. Методика оценки влияния геометрических размеров на частотные характеристики структуры и методика моделирования неоднородных связанных систем на основе многомодового приближения в работе заявлены как новые разработки. В связи с этим возникает вопрос, возможно ли официально зарегистрировать методики как интеллектуальную собственность в виде программ для ЭВМ, либо как ноу-хау?

4. Если предложенный эскизный проект резонатора имеет в совокупности столько уникальных параметров, то почему он не запатентован как полезная модель?

5. В пункте «Публикации» введения сказано, что две статьи автора опубликованы в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus. Однако эти статьи индексируются только в базе Scopus.

Считаю, однако, что указанные выше замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы.

Заключение

В диссертации И.В. Рыбакова решены актуальные задачи по разработке новых методов измерений и приборов для изучения физических явлений. Она соответствует пунктам 2, 5 и 8 паспорта специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Полученные автором результаты достоверны, основные выводы и заключения обоснованы. Результаты, выносимые на защиту, опубликованы в открытой печати в журналах, как рекомендованных ВАК, так и индексируемых Scopus. Результаты апробированы на международных, российских научных конференциях и семинарах. Диссертация адекватно отражает полученные соискателем результаты, оформление диссертации соответствует требованиям ВАК. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Физическое обоснование нормально проводящего ускоряющего резонатора для интенсивного линейного ускорителя ионов водорода» полностью соответствует требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденных постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор Рыбаков Иван Викторович несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Дата составления отзыва 16.11. 2020 г.

Официальный оппонент

Доктор технических наук, _____ / Павлов Ю.С. /

заведующий лабораторией

Лаборатория радиационных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН),

Почтовый адрес: 119071, г. Москва, Ленинский проспект 31, корп. 4, ИФХЭ РАН.

E-mail: rad05@bk.ru

Телефон: +7 (499) 743-01-22

Подпись Ю.С. Павлова удостоверяю,

Ученый секретарь ИФХЭ РАН

_____ / Варшавская И.Г. /

Павлов Юрий Сергеевич

доктор технических наук

специальность 01.04.20 "Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника"

Публикации:

1. Pavlov Yu.S., Bystrov P.A., Nepomnyaschy O.N. Optimization of accelerator beam scanning parameters to improve the efficiency of radiation technologies. *Radiation Physics and Chemistry*. 2020. – Vol. 177. – P. 109129.
2. Bystrov P.A., Pavlov Yu.S., Souvorova O.V., Yakupov I.Yu. Formation of irradiation beams on accelerator UELV-10-10-C-70 for research of the radiation resistance of polymers. *Radiation Physics and Chemistry*. 2019. – Vol. 161. – P. 83–86.
3. Bystrov P.A., Pavlov Yu.S., Kazyakin A.A., Kozlov A.A. Operation control system of sterilization installation on the basis of the accelerator UELV-10-10-S-70. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2019. – Vol. 124, no. 6. – P. 185–189.
4. Bystrov P.A., Prokopenko A.V., Pavlov Yu.S., Rozanov N.E. Computer Program «Beam Scanning» for Calculation of Irradiation Processes in Radiation-Technological Installations. *Procedia computer science*. – Netherlands, 2018. – Vol. 145. – P. 123–133.
5. Bystrov P.A., Gordeev A.V., Pavlov Yu.S. et al. Prospects of Electron Beam Irradiation to Ensure Microbiological Safety of Food Products. *Physics of Atomic Nuclei*. 2018. – Vol. 81, no. 10. – P. 1526–1530.
6. Metreveli P.K., Metreveli A.K., Ponomarev A.V., Pavlov Yu.S. Electron-Beam Processing of Petroleum Sludge. *High Energy Chemistry*. 2018. – Vol. 52, no. 5. – P. 414–418.
7. Gracheova A.Yu, Zav'yalov M.A., Pavlov Yu.S. et al. Enhancement of Efficiency of Storage and Processing of Food Raw Materials Using Radiation Technologies. *Physics of Atomic Nuclei*. 2016. – Vol. 79, no. 14. – P. 1682–1687.

8. Pavlov Yu.S., Surma A.M., Lagov P.B. et al. Accelerator-based electron beam technologies for modification of bipolar semiconductor devices. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. – Vol. 747, no 1, – P. 012085
9. Pavlov Yu.S., Revina A.A., Souvorova O.V. et al. Electron beam agrobionanotechnologies for agriculture and food industry enabled by electron accelerators. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. – Vol. 941. – P. 012098.
10. Lagov P.B., Maslovsky V.M., Pavlov Yu.S. et al. High-rate high-density ICP etching of germanium. *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. 2019. – Vol. 23, No 1. – P. 57-70.
11. Polyakov A.Y., Haller C., Pavlov Yu.S. et al. Deep traps in InGaN/GaN single quantum well structures grown with and without InGaN underlayers. *Journal of Alloys and Compounds*. 2020. – Vol. 845. – P. 156269.
12. Dzhivanova Z.V., Smirnov A.V., Pavlov Yu.S., Belova E.V. Thermal stability of the extraction system “30% TBP – Isopar-M – HNO₃” in isochoric mode. *Progress in Nuclear Energy*. 2020. – Vol. 119. – P. 103174.
13. Skvortsov I.V., Belova E.V., Pavlov Yu.S., Myasoedov B.F. Effect of Irradiation on the Dynamics of Gas Evolution in Thermal Oxidation of Diamide Extractants in F-3 Diluent. *Radiochemistry*. 2018. – Vol. 60, No 6. – P. 595-600.
14. Polyakov A.Y., Smirnov N.B., Pavlov Yu.S. et al. Pulsed fast reactor neutron irradiation effects in Si doped n-type β -Ga₂O₃. *Journal of Physics D - Applied Physics*. 2020. – Vol. 53, No 27. – P. 274001.
15. Polyakov A.Y., Shmidt N.M., Pavlov Yu.S. et al. Defect States Induced in GaN-Based Green Light Emitting Diodes by Electron Irradiation. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*. 2018. – Vol. 7, No 6. – P. 323-328.