

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Азаряна Николая Сергеевича

«Сверхпроводящие ускоряющие резонаторы из ниобия для электронных линаков»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

В настоящее время разработка и сооружение уникальных ускорительных установок для обеспечения как фундаментальных, так и междисциплинарных исследований, не рассматривается без элементов и устройств с использованием сверхпроводимости. В частности, применение сверхпроводящих ускоряющих резонаторов позволяет обеспечить не достижимые для нормально проводящих структур параметры.

С использованием сверхпроводящих ускоряющих резонаторов сооружен Линейный Ускоритель (ЛУ) на 17 ГэВ лазера на свободных электронах проекта European XFEL и ведется разработка электрон-позитронного коллайдера ILC с энергией в центре масс от 500 ГэВ. Применение сверхпроводящих резонаторов в ЛУ протонов с энергией порядка 1 ГэВ позволяет повысить среднюю мощность пучка до единиц МВт при создании источников нейтронов класса SNS и ESS. Возможность с применением сверхпроводящих резонаторов обеспечить непрерывный режим работы является решающей для ЛУ тяжелых ионов и радиоактивных ядер до сотен МэВ на нуклон, например в установке FRIB и проекте DERICA.

Это в целом определяет актуальность работы Азаряна Н.С., посвященной вопросам изготовления сверхпроводящих резонаторов, для создания уникальных ускорительных установок. В процессе исследований сверхпроводящих резонаторов различных разновидностей сформированы представления о предпочтительных областях применения резонаторов различных форм. Общеизвестно, что резонаторы с ячейками формы 'TESLA shape' на колебании E010 оптимальны для ускорения частиц с относительной скоростью $\beta > 0.5$ и на частотах выше 600-700 МГц. Поэтому результаты работы Азаряна Н.С., посвященной именно таким резонаторам, актуальны для более широкого класса ЛУ, чем заявляется в названии работы.

Изготовление сверхпроводящих резонаторов требует тщательного выполнения комплекса высокотехнологичных операций с постоянным контролем качества, начиная с используемого материала, и продолжающегося на всех этапах дальнейшей обработки. Для сверхпроводящих резонаторов эта часть процесса разработки и сооружения является определяющей, стимулируя как детальное освоение и реализацию уже апробированных, так и разработку новых технологических решений с учетом особенностей массового производства. В настоящее время тематика СВЧ сверхпроводимости выделилась в отдельное направление в разработке и сооружении ускорителей заряженных частиц. Это подразумевает большой объем независимых исследований в данной области. Но при начале разработки ускорительной установки международного масштаба с определяющим применением сверхпроводящих резонаторов всегда необходим разворот экспериментальных работ по СВЧ сверхпроводимости в принимающей лаборатории. Это окончательно определяет

актуальность работы Азаряна Н.С., направленной на разработку технологии промышленного производства и создание опытной серии сверхпроводящих высокочастотных резонаторов для ускорителей заряженных частиц.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 94 наименований.

Во введении проводится сравнительный анализ характеристик нормально-проводящих и сверхпроводящих резонаторов и ускорителей с их применением. Автором логично выстраивается аргументация целесообразности проведения описанных в диссертации исследований. В сочетании с обзором известных вариантов технологии изготовления сверхпроводящих резонаторов выбрано в настоящее время доминирующее и подтверждено обеспечивающее массовое технологическое решение. Формируется перечень необходимых для освоения данной технологии и изготовления опытной серии резонаторов этапов работы.

В первой главе проведена оптимизация профиля ячейки по важным для ускорения параметрам и определено поле возможных отклонений размеров ячеек. Рассмотрен выбор исходного материала. Детально исследован и отработан процесс предварительной очистки заготовок химическим травлением. Анализируются особенности традиционной инструментальной и гидроударной штамповки полуячеек. Для отработки технологии и определения технических параметров процесса гидроударной штамповки проведены исследования свойств ниобия и модельных материалов в статическом и динамическом режимах. Следует отметить эффективность применения для отработки технологии двух более дешевых чем особо чистый ниобий материалов – меди М1М и сплава алюминия АМцМ, характеристики которых являются для ниобия ограничивающими. В результате проведенных исследований разработан и апробирован на опытной партии технологический процесс изготовления полуячеек методом гидроударной штамповки. Впервые получены характеристики чистого ниобия при больших и быстрых пластических деформациях. Отработаны режимы и создана необходимая оснастка для механической обработки деталей их ниобия после штамповки.

Во второй главе изложена разработка технологического процесса изготовления ячеек резонатора. Основное внимание естественно уделено отработке режима и выбору параметров электронно-лучевой сварки деталей из ниобия и исследованию характеристик сварного шва, как механических, так и электрических, при криогенных температурах. Показано, что реализованное качество сварного шва достаточно для обеспечения необходимых характеристик резонатора при криогенных температурах.

Третья глава посвящена ВЧ измерениям характеристик опытной партии резонаторов на низком уровне ВЧ мощности при комнатной и криогенной температурах. Обосновано решение об измерениях характеристик опытных резонаторов по схеме двухполюсника. Для улучшения согласования измеряемого резонатора с измерительной цепочкой предложено оригинальное усовершенствование для устройства ввода ВЧ сигнала. Суть предложения заключается во введении дополнительной (к повороту петли ввода) степени свободы – изменении длины центрального проводника. Это, несомненно, позволяет обеспечить более точное согласование с резонатором, контролируемое по величине коэффициента стоячей волны в измерительной цепи. В целом, проведенные ВЧ измерения выполнены на высоком научно-техническом уровне с использованием современного измерительного оборудования. Результаты измерений характеристик резонаторов изготовленной опытной партии в

сравнении с предоставленным Фермилаб образцом показали необходимые для применения в ускорителях параметры.

Существенных погрешностей научно-технического характера в диссертационной работе не обнаружено. Единственным замечанием научно-технического характера является следующее: приведенные в Таблице 12 результаты измерений собственной частоты для образца N2 из ниобия при комнатной и криогенной температурах существенно выпадают из общей закономерности малого изменения этих частот для других трех резонаторов. Объяснения этому выпадению в тексте диссертации не приводится.

Отмеченное замечание не снижает ценности проведенных технологических исследований и полученных результатов и должно трактоваться как пожелание при продолжении работы провести повторные ВЧ измерения данных образцов.

Диссертация написана на высоком научно-техническом уровне, хорошо иллюстрирована, содержание структурировано и включает мотивированные и четко сформулированные выводы как по этапам, так и по работе в целом. В процессе работы соискателем проведен очень большой объем экспериментальных исследований, как минимум демонстрирующий владение современной аппаратурой и методикой проведения экспериментов. Результаты экспериментов сопровождаются логически и физически обоснованными выводами.

Несомненна практическая ценность диссертационной работы для развития техники ускорителей заряженных частиц, заключающаяся в отработке технологических режимов изготовления сверхпроводящих резонаторов на основе применения гидроударной штамповки заготовок. Указанное определяет полное соответствие диссертационной работы специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях и их апробация вполне достаточна.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и отражает ее основные положения.

Полученные результаты следует квалифицировать как важные, достоверные и обоснованные, имеющие практическое значение для техники ускорителей заряженных частиц.

Представленная диссертационная работа полностью соответствует всем критериям п. 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. N842, в части, касающейся кандидатских диссертаций, а её автор, Азарян Николай Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Ведущий научный сотрудник ОУК ФГБУН ИЯИ РАН,

д.ф.-м.н.


4.09.2019
В.В. Парамонов

Подпись Парамонова В.В. заверяю,
заместитель директора ИЯИ РАН, д.ф.-м.н.


А.В. Фещенко

