

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720. 001.03

на базе Лаборатории ядерных проблем

Объединенного института ядерных исследований

по диссертации Каминского Алима Константиновича,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20.11.2014 №527

о присуждении Каминскому Алиму Константиновичу, гражданину Российской Федерации ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Мазер на свободных электронах с «обратным» ведущим магнитным полем и его использование для исследования ресурса ускоряющих структур коллайдеров» выполнена в Объединенном институте ядерных исследований в виде рукописи по специальности 01-04-20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Диссертация принята к защите 28 апреля 2014 года, протокол № 524 диссертационным советом Д720.001.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, 141980, приказ № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Каминский Алим Константинович, гражданин Российской Федерации на момент защиты диссертации работает ведущим научным сотрудником в Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. В период подготовки диссертации работал начальником сектора, затем Ведущим научным сотрудником в Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Диссертацию «Создание и исследование эффективного лазера на свободных электронах в миллиметровом диапазоне длин волн» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Каминский Алим Константинович защитил в 1994 году по специальностям: 01-04-20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и 01.04.04 –

физическая электроника в специализированном совете Д047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, диплом Кн №008837.

Официальные оппоненты:

Братман Владимир Львович, гражданин РФ,
доктор физико-математических наук, профессор,
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,

Стрелков Павел Сергеевич, гражданин РФ,
Доктор физико-математических наук,
Институт общей физики им. А.М. Прохорова

Российской академии наук (г. Москва),

Яландин Михаил Иванович, гражданин РФ,
член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор,
Институт электрофизики Уральского отделения РАН, (Екатеринбург)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (г. Москва) дала положительное заключение. Заключение составлено старшим научным сотрудником, кандидатом физико-математических наук В.А. Пападичевым и ведущим научным сотрудником, доктором физико-математических наук А.В. Серовым. Отзыв заслушан и утвержден на заседании Ученого совета Отделения ядерной физики и астрофизики Физического института им. П.Н. Лебедева. Отзыв подписан заместителем директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П.Н. Лебедева профессором В.Н. Невוליным 21.10.2014 года.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов.

В отзыве Братмана Владимира Львовича отмечены актуальность, научная новизна, практическая ценность диссертации, достоверность

полученных результатов, личный вклад автора, дан краткий анализ результатов по главам. Диссертантом выполнен обширный цикл теоретических и экспериментальных исследований, получен ряд важных научных результатов, приведших к созданию МСЭ с уникальной комбинацией параметров излучения и демонстрации его использования для решения актуальных прикладных задач. В заключении отзыва сформулированы несколько замечаний: предложено сравнить режим работы МСЭ с «обратным» ведущим магнитным полем и «традиционную» схему МСЭ в режиме больших значений ведущего поля; предложено более детально проанализировать возможность предотвращения расщепления рабочей моды МСЭ генератора за счет выбора связанной моды, у которой поперечная структура поля совпадает со структурой поля усиливаемой волны; дать оценку последних экспериментов, проведенные в SLAC, о корреляции между величиной импульсного нагрева стенки структуры при воздействии периодических СВЧ-импульсов и вероятностью СВЧ-пробоя в ней. Согласуется ли это с экспериментами, проведенными в ОИЯИ?

В отзыве Яландина Михаила Ивановича отмечено, что диссертация Каминского А.К. направлена на решение проблем, связанных с перспективами создания высокоградиентных линейных ускорителей (коллайдеров). Для решения этих задач экспериментально и с помощью численного моделирования автором создан МСЭ генератор с уникальными параметрами: получен узкий спектр $< 0,5 \times 10^{-3}$, нестабильность частоты такого же уровня и выходная мощность ~ 20 МВт (главы 1 и 2). Третья глава посвящена решению проблем, возникших при создании специализированного СВЧ стенда на основе созданного МСЭ генератора, а также получению на стенде новых физических результатов по исследованию воздействия на медные образцы мощных циклических СВЧ импульсов. В отзыве сделан ряд замечаний. Оппонент считает, что было бы полезно дать прогноз применения усилительных вариантов МСЭ при создании мощных узкополосных МСЭ источников, уточнить особенности работы МСЭ усилителя, изображенного на

рис. 1.18, дать более полное аргументированное объяснение системы измерения или расчета величины импульсного СВЧ нагрева поверхности медного кольца (глава 3).

В отзыве Стрелкова Павла Сергеевича отмечается, что диссертация выполнена на актуальную тему, обладает несомненной научной новизной. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения. Приведен анализ результатов диссертации по главам. Оппонент считает, что результаты диссертации могут быть использованы в ФИ РАН, ИОФ РАН, МСЭ СОРАН, ИПФ РАН, ИЯФ СОРАН НИИЯФ при ТПУ, МРТИ РАН и в исследованиях процессов взаимодействия СВЧ излучения на разные материалы. В отзыве приведено несколько замечаний, относящихся к качеству изложения материала, к оформлению отдельных рисунков. Отмечено также, что некоторые утверждения недостаточно аргументированы: недостаточно подробно анализируется проблема модового состава излучения, получения одномодового конечного состояния МСЭ и описания влияния волновода на выходные параметры МСЭ.

В отзыве ведущей организации отмечается ценность полученных в диссертации результатов для создания мощных узкополосных источников СВЧ излучения миллиметрового и сантиметрового диапазонов, возможность создания на их основе установок для исследований различных устройств, важных при разработке узлов современных и будущих коллайдеров (на энергии 3-5 ТэВ и выше). В отзыве проанализированы перспективность предложенных и реализованных решений, практическая ценность диссертации и достоверность полученных результатов, сделано заключение, что: «диссертация Каминского А.К. представляет собой научно квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, подтвержденные экспериментально, совокупность которых можно квалифицировать, как научное достижение». В отзыве сделано несколько замечаний по качеству оформления отдельных рисунков, а также указано на то, что систему измерения (или расчета) температуры медного

кольца в резонаторе следовало бы изложить более полно. Полезно также было бы указать, какая напряженность поля в ускоряющей структуре коллайдера соответствует условиям экспериментов на стенде.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что все три оппонента являются видными учеными, известными в России и в мире специалистами по вакуумной и плазменной электронике больших мощностей и по физике ускорителей. Ведущая организация являлась одним из ведущих и широко известных научно-исследовательских институтов СССР и остается такой в настоящее время.

Соискатель имеет 124 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации приведено 43 публикации, в базе Web of Science - 35 публикаций. Наиболее значимые работы по теме диссертации.

1. Викторов Ю.Б., Каминский А.К., Косухин В.В. и др. *Формирование плотного электронного пучка и его транспортировка в поле соленоида*// Сообщение ОИЯИ 9-89-388 1989, с. 1-8.
2. Kaminsky A.A., Kaminsky A.K., Rubin S.B., Sarantsev V.P., Sergeev A.P. *Experiments on the efficiency increase of FEL amplifier on the base of LIU 3000*// Particle Accelerators, vol. 33, p. 189-194, 1990.
3. Каминский А.А., Каминский А.К., Рубин С.Б., Саранцев В.П., Сергеев А.П., Коцаренко Н.Я., Силивра А.А. *Исследование ЛСЭ с сильной спиральной накачкой и обратным ведущим полем*// Релятивистская высокочастотная Электроника. Вып. 7 / ИПФАН СССР. Горький, 1992. С. 60-80.
4. Ginzburg N.S., Goldenberg C.A., Kaminsky A.K., Peskov N.Yu., Sedykh S.N., Sergeev A.P. *Millimeter-wave FEL-oscillator with a new type Bragg resonator: advantages in efficiency and selectivity*// Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research A. 2000. V.A445. P.253-256.
5. Елжов А.В., Гинзбург Н.С., Зайцев Н.И., Иванов И.Н., Иляков Е.В., Каминский А.К., Косухин В.В., Кузиков С.В., Кулагин И.С., Песков Н.Ю., Перельштейн Э.А., Петелин М.И., Седых С.Н., Сергеев А.П., Сергеев А.С., Сырачев И.В. *Стенд для исследования ресурса имитатора ускоряющей структуры коллайдера CLIC при воздействии мощного импульсного излучения на частоте 30 ГГц* // Письма в Журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра». 2005. Т.2, №3 (126). С.102-105.
6. Каминский А.К., Перельштейн Э.А., Седых С.Н., Гинзбург Н.С., Кузиков С.В., Песков Н.Ю., Сергеев А.С. *Демонстрация работы мощного 30-ГГц МСЭ на резонансную нагрузку* // Письма в ЖТФ. 2010. Т.36, №5. С.37-46.

7. Vikharev A.A., Ginzburg N.S., Golubev I.I., Danilov Yu.Yu., Zaitsev N.I., Kaminsky A.K., Kozlov A.P., Kusikov S.V., Perelstein E.A., Peskov N.Yu., Petelin M.I., Sedykh S.N., Sergeev A.P., Sergeev A.S. *Pulsed cycling heating of copper surface using high-power 30-GHz free-electron maser*//ISSN 1063-7850, Technical Physics Letters, 2011, V.37.N2. p.102-105.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработана новая научная идея, обогащающая концепцию создания на основе существующих ускорителей электронов мощных источников когерентного излучения миллиметрового и сантиметрового диапазонов с шириной спектра, стабильностью рабочей частоты и эффективностью, намного лучшими, чем в традиционных схемах МСЭ.

На основе разработанной концепции создано и экспериментально исследовано семейство МСЭ генераторов и МСЭ усилителей, у которых ширина спектра в 20-25 раз более узкая, а эффективность в 2-3 раза выше, чем в аналогичных МСЭ, созданных по «традиционным» схемам. Новый тип МСЭ назван автором «МСЭ с «обратным» ведущим магнитным полем. Это название в настоящее время стало общепринятым в литературе. В зарубежной литературе такие МСЭ стали называть FEL или FEM «with reversed или backward guide field». В публикациях, выполненных автором в разные годы совместно с коллегами из Киевского государственного университета (Киев, Украина), а затем из Института Прикладной Физики (Нижний Новгород, Россия), обоснованы отличия МСЭ с «обратным» ведущим магнитным полем от «традиционных» схем МСЭ, проведено сравнение полученных экспериментальных результатов с результатами численного моделирования и с результатами, полученными позже в других научных центрах. При добавлении в схему МСЭ генератора с «обратным» ведущим магнитным полем высокоселективных брэгговских резонаторов получено новое значительное улучшение спектральных характеристик МСЭ одновременно с улучшением выходной мощности генератора. Это позволило автору совместно

с коллегами из ИПФ РАН спроектировать и создать на базе МСЭ генератора с «обратным» ведущим магнитным полем специализированный СВЧ стенд, на котором были проведены исследования по определению стойкости меди по отношению к импульсному циклическому воздействию.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что в них обосновано новое перспективное направление, которое привело к разработке и созданию нового типа МСЭ (МСЭ с «обратным» ведущим магнитным полем), в котором направление вращения электронов в поле винтового вигглера противоположно направлению их вращения в ведущем магнитном поле. Рабочие характеристики нового МСЭ значительно более слабо зависят от энергетического и скоростного разбросов в электронном пучке, чем в «традиционных» схемах. Значительное улучшение спектра, эффективности и других характеристик МСЭ с «обратным» ведущим магнитным полем по сравнению с и «традиционными» схемами МСЭ проанализировано с использованием численного моделирования.

В результате объединения схемы МСЭ с «обратным» ведущим полем с селективными брэгговскими резонаторами в цепи обратной связи (Гл. 2), экспериментально получено уменьшение ширины спектра излучения МСЭ еще более, чем на порядок при одновременном увеличении его эффективности. Экспериментальные результаты с несколькими типами брэгговских резонаторов хорошо согласуются с данными, полученными в численном моделировании МСЭ.

С использованием разработанного МСЭ генератора создан специализированный СВЧ стенд для получения экспериментальных результатов по коллайдерной тематике. На стенде, в области параметров установки, значительно превышающих параметры, полученные на других установках этого диапазона частот, получены новые экспериментальные результаты по стойкости медных образцов при воздействии на них мощными, циклически повторяющимися СВЧ импульсами.

Достоверность полученных соискателем результатов

подтверждается тем, что важные параметры электронного пучка и СВЧ излучения в экспериментах измерялись несколькими методами, разными приборами, имеющими независимые калибровки. Кроме этого, проводилось регулярное сравнение получаемых экспериментальных результатов с результатами численного моделирования, а также, по мере возможности с результатами, полученными другими научными группами (MIT, SLAC, LLNL) при близких параметрах. И наконец, устранение пробоев на созданном СВЧ стенде и получение экспериментальных результатов на стенде при величинах импульсного нагрева 200°C и 250°C являются убедительным подтверждением достоверности полученных результатов.

Личный вклад соискателя. В диссертации детально рассмотрены несколько физических и технических проблем, решение которых позволило создать МСЭ генераторы и МСЭ усилители с набором уникальных параметров. Это идея МСЭ с «обратным» ведущим магнитным полем, создание МСЭ генератора, в котором идея «обратного» ведущего поля была дополнена использованием высокоселективных брэгговских резонаторов, разработанных в ИПФ РАН, и проблема создания специализированного высокочастотного СВЧ стенда для исследований повреждения медных образцов мощными повторяющимися СВЧ импульсами. Формулировка задач экспериментов принадлежит автору диссертации. Кроме этого, он руководил исследованиями и принимал непосредственное участие на всех стадиях решения поставленных задач, начиная от работ по получению требуемых параметров электронного пучка ускорителя до получения физических результатов по сформулированным проблемам, обеспечивал широкое обсуждение и анализ полученных результатов.

На заседании 20.11.14 диссертационный совет принял решение присудить Каминскому Алимю Константиновичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности, защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 18 , против присуждения ученой степени 0 , недействительных бюллетеней 0 .

Заместитель председателя диссертационного совета
Д 720.001.03 в ОИЯИ



A. G. Olyshvskiy **А.Г. Ольшевский**

Ученый секретарь
диссертационного совета

G. A. Karamyshova **Г.А. Карамышева**