

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора Федерального
государственного бюджетного учреждения науки

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

профессор В.Н.Неволин



“21” октября 2014 г.

О Т З Ы В

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН на диссертацию Каминского Алима Константиновича “Мазер на свободных электронах с «обратным» ведущим магнитным полем и его использование для определения ресурса ускоряющих структур электрон-позитронных коллайдеров”, представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.20 – “Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника”

Успехи в получении сильноточных пучков электронов и их использование для разработки мощных источников когерентного электромагнитного излучения привели к созданию за последние два-три десятилетия мазеров на свободных электронах (МСЭ) в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн. Однако их широкое применение во многих областях науки и техники не исключает необходимости разработки новых МСЭ, отвечающих более высоким требованиям.

В частности, для важнейших исследований по физике элементарных частиц следующего поколения разрабатываются проекты линейных электрон-позитронных коллайдеров на беспрецедентно высокие энергии столкновения 0.5 – 3 ТэВ, которые невозможно достичь в коллайдерах тяжёлых частиц. Это связано с тем, что при столкновении протонов в реакции участвуют кварки и глюоны, входящие в состав протона, и его энергия распределяется на несколько частиц, между которыми и происходят столкновения. При столкновении электронов с позитронами энергия реакции равна сумме их энергий. Электрон-позитронные столкновения позволят проводить прецизионные эксперименты в более короткие сроки, что важно в связи с падением сечений взаимодействия с ростом энергии. Следует отметить, что ускорение электронов и позитронов до таких высоких энергий невозможно в более компактных циклических

ускорителях из-за гигантской мощности их синхротронного излучения и поэтому неизбежно использование линейных.

Для сокращения длины и стоимости коллайдера ускорители должны обеспечить высокие ускоряющие поля при необходимом сроке непрерывной работы в течение 10 – 20 лет. Создание таких уникальных многокилометровых установок требует проведения научных исследований и решения многих технических проблем с применением новых, более мощных узкополосных источников в области миллиметровых длин волн. Диссертация А.К.Каминского как раз посвящена созданию мощного источника когерентного излучения в области частот 30 ГГц. Его использование для определения предельно допустимой напряжённости ускоряющего поля в коллайдере дает возможность сделать обоснованный выбор типа ускоряющей структуры и материала для изготовления резонаторов. Ожидаемое повышение ускоряющего поля в 20 раз при ускорении на частоте 30 ГГц в несверхпроводящем ускорителе по сравнению частотой 1.3 ГГц в сверхпроводящем ускорителе (проект DESY в Германии) позволило бы сократить во много раз длину коллайдера и его стоимость, оцениваемую в 20 миллиардов долларов, и увеличило шансы на его реализацию.

Выбор сверхпроводящего варианта - это начальный шаг в общей программе по физике высоких энергий, так как предельное ускоряющее поле на втором этапе его работы составит 31.5 МВ/м, что при длине коллайдера 31 км соответствует энергии столкновения 1 ТэВ, хотя рассматриваются проекты на 5 ТэВ. Поэтому выбранная тема диссертации останется актуальной не только для выбора первого варианта коллайдера, но и для дальнейшего продвижения вверх по шкале энергий, так как альтернативные методы (например, лазерное ускорение в плазме) несмотря на большие ускоряющие поля далеки еще от получения прецизионных пучков электронов с нанометровыми размерами.

Трудности на пути использования источников на частоте 30 ГГц в несверхпроводящей ускоряющей структуре возникли также из-за образования дефектов на поверхности резонатора при циклическом импульсном нагреве, что приводило к высокочастотным пробоям и не обеспечивало необходимый ресурс работы (10^{11} импульсов). Исследование этого явления в требуемом диапазоне мощности и частоты электромагнитного излучения стало возможным после создания специального стенда в ОИЯИ под руководством автора диссертации.

Новизну и актуальность исследований по теме диссертации подчеркивает и тот факт, что работа велась по инициативе и в тесном сотрудничестве с CERN, где разрабатывался один из вариантов коллайдера. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных конференциях и Рабочих совещаниях.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении обоснованы актуальность, цель, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

Первая глава посвящена формированию и транспортировке электронного пучка от линейного индукционного ускорителя, выбору схемы генератора и усилителя миллиметрового диапазона длин волн и обоснованию преимуществ предложенной автором системы, в которой направление вращения пучка в поле ондулятора противоположно вращению в аксиальном магнитном поле. Численное моделирование показало, что предложенная схема дает возможность получить излучение с большей мощностью и узким спектром даже при использовании электронных пучков с большим эмиттансом и энергетическим разбросом.

Во второй главе изложены исследования по дальнейшему усовершенствованию МСЭ такого типа путем использования брэгговского резонатора и ондулятора с профилированным полем с целью ещё сузить спектр и повысить мощность излучения. Подробно описаны работы по экспериментальному воплощению выдвинутых идей при создании уникального МСЭ на частоте 30 ГГц с мощностью излучения 20 - 25 МВт при стабильности частоты лучше 0,01% и ширине спектра 5 - 8 МГц.

Третья глава посвящена применению созданного МСЭ в качестве источника для питания специального резонатора с высокой добротностью, моделирующего температурный режим ускоряющей структуры коллайдера CLIC (CERN). При создании стенда была разработана аппаратура для транспортировки и диагностики мощного СВЧ-пучка. Получены экспериментальные данные по стойкости меди по отношению к импульсным циклическим нагрузкам при заданных расчетных температурах нагрева 40 и 200°C.

Научная новизна диссертационной работы заключается в обосновании и экспериментальном осуществлении выдвинутой автором идеи использования аксиального магнитного поля в мазере на свободных электронах с ондулятором, направление вращения электронов в котором противоположно их вращению в аксиальном поле. Такой режим работы позволил резко уменьшить разброс по продольным скоростям в пучке электронов, имеющем значительный разброс по поперечным скоростям. Стало возможно использовать большие токи пучка и увеличить длину усиления, т. е. увеличить мощность и уменьшить ширину спектра излучения.

Вторым важным оригинальным усовершенствованием было использование специального брэгговского резонатора в генераторе МСЭ, что также привело к сужению спектра и увеличению мощности излучения.

Третьим шагом, позволившим выйти на рекордные параметры МСЭ, было использование в усилителе известного метода профилирования поля в конце ондулятора, что увеличило длину усиления и выходную мощность МСЭ. В итоге, был создан новый источник когерентного миллиметрового излучения большой мощности с узким спектром и регулировкой частоты для согласования с ускоряющей структурой коллайдера.

Практическая ценность результатов диссертации связана с новыми методами создания мощных узкополосных источников излучения в миллиметровом диапазоне длин волн и их использовании для решения задач по разработке будущих коллайдеров на сверхвысокие энергии.

Достоверность результатов подтверждена совпадением результатов численного моделирования и экспериментально измеренных параметров созданных МСЭ и узлов испытательного стенда, а также сравнением измерений с результатами, полученными в Стэнфордской лаборатории линейного ускорителя при меньших полях.

Основные научные результаты, изложенные в диссертации, хорошо известны в России и за рубежом, неоднократно докладывались на российских и международных конференциях и совещаниях, опубликованы в реферируемых научных журналах и трудах конференций. Материал диссертации основан на 43 публикациях, что свидетельствует о решающем личном вкладе автора. Такое большое количество публикаций для экспериментальной работы тоже является хорошим показателем.

Высоко оценивая научную ценность диссертации, можно сделать несколько замечаний по поводу ее оформления.

1. Диссертация перегружена перечислениями значений различных параметров в предварительных и второстепенных экспериментах. Их основные результаты лучше было бы представить обобщенно и более сжато с использованием графиков и таблиц.
2. В то же время подписи к рисункам часто не содержат значений параметров эксперимента.
3. Встречаются жаргонизмы: "вигглер" следовало бы заменить на ондулятор, "банчировку" пучка – на группировку, "усилительный" сигнал (стр. 78) - сигнал с усилителя или усиленный сигнал.
4. Рисунок 1.25 не позволяет сделать четкий вывод о преимуществе метода с различным направлением вращения пучка в ондуляторе и аксиальном магнитном поле, так как приведены графики бетатронных колебаний. Следовало бы привести графики разброса продольных скоростей в пучке при двух направлениях аксиального поля.
5. При изложении экспериментов по нагреву с большим числом импульсов следовало бы указать, как измеряли (или рассчитывали) температуру поверхности резонатора, а также

какая напряженность поля в ускоряющей структуре коллайдера соответствует условиям эксперимента на стенде. Хотя эти данные получали другие исследовательские группы, сотрудничавшие с группой ОИЯИ, их наличие позволило бы сразу оценить важность полученных в ОИЯИ результатов.

Изложенные замечания не умаляют достоинств диссертации как важного вклада в науку. Содержание диссертации соответствует указанной специальности, автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертацию можно охарактеризовать как научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, подтвержденные экспериментально, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Диссертация соответствует требованиям ВАК, а её автор Каминский Алим Константинович заслуживает присвоения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01-04-20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв составили:

старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук



В.А. Пападичев

ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук



А.В. Серов

Отзыв заслушан и утверждён на заседании Учёного совета Отделения ядерной физики и астрофизики Физического института им. П.Н.Лебедева.

Протокол № 35 от 21 октября 2014 г.

Председатель Ученого совета ОЯФА ФИАН, профессор



О.Д. Далькаров

Секретарь Ученого совета ОЯФА ФИАН, к.ф.м.н.



Н.П. Топчиев