

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РОССИИ

*Д.А. Шкитов, к.ф.-м.н., мл. науч. сотр.,
М.М. Токтаганова, студент гр. 0АМ0М
Томский политехнический университет
E-mail: mmt8@tpu.ru*

Введение

В настоящее время, из-за ограничения количества международных перемещений и приостановления на неопределённый срок работы ускорительных установок (в том числе за рубежом) в связи с развернувшейся пандемией COVID-19, остро встала проблема задержки запланированных экспериментов на ускорителях электронов, находящихся как внутри, так и вне России. Предсказать насколько затянутся эти ограничения, а, следовательно, задержки, пока не представляется возможным. Однако вероятность провести эксперимент в России выше. Таким образом, существует потребность в поиске отечественных установок, на которые можно перенести эксперименты. В литературе встречаются обзоры на ускорители тяжелых частиц, промышленные и медицинские установки. Однако отсутствует какая-либо единая информационная база или обзоры о российских исследовательских ускорителях электронов. Нами предпринята попытка сформировать такую базу со ссылками для дальнейшего обращения к ней при планировании экспериментов [1]. В данной статье проводится краткий обзор существующих электронных ускорителей России. Также кратко описана их инфраструктура, характеристики генерируемых пучков, и сферы их применения на текущий момент. Кроме того, приведены результаты анализа на предмет возможности проведения эксперимента по генерации поляризованного излучения и выводы из анализа результатов компьютерного моделирования характеристик данного излучения на пучках существующих установок.

Обзор экспериментальных ускорительных установок России

Новосибирск. Обширно экспериментальные установки представлены в г. Новосибирск в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения в ИЯФ им. Будкера. По значимости выделяются два комплекса – Комплекс электрон-позитронных коллайдеров ВЭПП-4 – ВЭПП-2000 и Новосибирский лазер на свободных электронах (ЛСЭ). ИЯФ предоставляет сторонним организациям возможность проведения научных экспериментов на установках в соответствии с внутренним регламентом. Модификацию ВЭПП-4 – ВЭПП-2000 под нужды определенных экспериментов проводить можно, насколько можно судить по регламенту, но это, конечно, требует согласования. Кроме того, существуют и технические ограничения к модификации тракта ускорителей. Строго говоря, всё зависит от технических требований конкретного эксперимента. Регламент доступа к установкам на **Новосибирский ЛСЭ** для проведения научных экспериментов тот же. **Поскольку ЛСЭ является фабрикой излучения, можно сделать вывод, что произвести даже частичную модификацию установки будет затруднительно по организационным причинам.** *Москва.* Здесь выделяются 2 крупных комплекса, это Ускорительно-накопительный комплекс Курчатовского специализированного источника синхротронного излучения (КИСИ) в НИЦ «Курчатовский институт» и Парк линейных ускорителей электронов на энергию от 50 кэВ до 30 МэВ в РУЦ НИЯУ МИФИ, также имеется несколько менее крупных установок: импульсные разрезные микротроны на энергии электронов 70, 55 и 35 МэВ, технологический ускоритель электронов на энергию 10 МэВ в Ускорительном Комплексе НИИЯФ МГУ, циклический ускоритель электронов С-60 и ускорительный комплекс «Пахра» С-25Р в ФИАН. Комплекс КИСИ работает в режиме фабрики синхротронного излучения – генерируемое на кольцах излучение, отводится на экспериментальные станции фундаментальных и прикладных исследований в области физики, химии, биологии, археологии. Стоит отметить высокую занятость установки, согласно графику работы КИСИ. Поскольку спрос на использование установки достаточно велик, проведение наших исследований на КИСИ не представляется возможным. Парк линейных ускорителей электронов в РУЦ МИФИ помимо научных исследований активно используется в рамках учебного процесса. Проводимые исследования сосредоточены на повышении эффективности ускоряющих структур, а также материаловедении. Парк насчитывает 4 ускорителя электронов: У-17(10-30 МэВ), У-28(2-12 МэВ), РЭЛУС(2,5-5 МэВ) и РУЭМ(0,6 МэВ). Осуществление экспериментов сторонними организациями согласуется посредством прямых контактов с администрацией отделения. Установки достаточно компактные и могут быть подвергнуты модификации для наших экспериментов. Импульсные разрезные микротроны на энергии

35, 55 и 70 МэВ в МГУ предназначены для проведения фундаментальных исследований в области ядерной физики, изучения различных методов генерации электромагнитного излучения, и медицинских исследований. МГУ предоставляет доступ к комплексу на безвозмездной основе в целях проведения совместных исследований и анализа экспериментальных данных либо взаимовыгодных технических разработок. Возможность модификации установок обговаривается со специалистами МГУ. Свежую информацию об установках в ФИАН найти, пока, не удалось. Томск. Микротрон ТПУ способен генерировать выведенные электронные пучки в диапазоне энергий 2,5-5,7 МэВ. Основное направление исследований - поляризационные излучения, их свойства и механизмы генерации. Также проводятся исследования по генерации излучения в оптическом и ультрафиолетовом диапазоне от кристаллов и многослойных пластин. Часто выполняются фундаментальные и прикладные исследования в коллаборации со сторонними организациями. Доступ к установке предоставляется по договоренности с администрацией и сотрудниками ВУЗа. Установка легко подстраивается под нужды определенных экспериментов, т.е. достаточно гибкая в вопросе проведения модификаций.

Моделирование характеристик излучения

Средой моделирования была Wolfram Mathematica. В основе проведения моделирования лежит аналитическая формула, так называемого, форм-фактора последовательности электронных сгустков [2], определяющего характер спектральных линий в излучении. Неизменные характеристики моделируемого эксперимента (наклон мишени, положение детектора, среда и т.д.) те же, что и в статье [2]. Разработанный код для проведения моделирования представлен в открытом доступе [3]. Для упрощения анализа рассматривается только один механизм генерации излучения – переходное излучение (как наиболее изученное). Проведение моделирования было осложнено нехваткой данных о параметрах выходных пучков, так, например, из поля зрения полностью выпал комплекс линейных ускорителей МИФИ. Тем не менее, нам удалось провести моделирование и рассчитать спектры от 12-ти установок (некоторые отличались лишь энергией, так что полученные спектры практически идентичны). По итогам моделирования в целом наблюдается следующая картина: большинство установок генерирует переходное излучение в пределах десятков ГГц, некоторые машины способны выдавать сотни ТГц (ВЭПП-3). В нашем случае определяющую роль играли размеры сгустков и расстояния между ними. О влиянии тех или иных параметров пучка можно прочесть в статье [2].

Заключение

Из проведенного обзора можно заключить, что ускорители электронов представлены в России не так широко, но, тем не менее, в достаточной степени для существования независимой исследовательской базы. Основной научный потенциал сосредоточен в таких городах как Новосибирск и Москва, существуют локальные установки в регионах и наукоградах, в их числе и микротрон ТПУ. Возвращаясь непосредственно к нашим потребностям и проведенному анализу можно заключить, что существует хороший разброс установок по энергиям, на тот случай если понадобится излучение высокой интенсивности и чуть более ограниченный, но всё ещё широкий выбор установок по продольному размеру пучка. Таким образом, все существующие наработки по проведению экспериментов с поляризационным излучением в миллиметровом диапазоне длин волн для микротрона ТПУ можно применить к большому классу установок России, что открывает возможности для взаимного сотрудничества и обмена опытом.

Список использованных источников

1. Таблица экспериментальных ускорительных установок в России. [Электронный ресурс]. – URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SHKITOVDA/eng/files/files> (дата обращения 18.02.2021).
2. Токтаганова М.М., Дышеков А.А. Моделирование спектральных характеристик источников терагерцового излучения на основе последовательностей электронных сгустков // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XVII конференции. – Томск: ТПУ, 2020. – Т. 1. Физика. – С. 206-208.
3. Coherent Transition Radiation from Bunches of Charged Particles. [Электронный ресурс]. – URL: <https://demonstrations.wolfram.com/CoherentTransitionRadiationFromBunchesOfChargedParticles/> (дата обращения 18.02.2021).