

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Шпакова Владимира Сергеевича «Диагностика ультрарелятивистских электронных пучков с помощью двухщелевой системы дифракционного излучения», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Предметом исследования представленной диссертационной работы является дифракционное излучение (ДИ) от системы, состоящей из двух щелей, как средство для диагностики пучка ультрарелятивистских заряженных частиц. В работе исследовано влияние смещения центров щелей относительно друг друга, расходимости пучка на характеристики ДИ от такой системы; исследованы границы применимости приближения волновой зоны для описания системы, состоящей из двух щелей. Основным содержанием диссертационной работы является анализ возможности диагностики электронных сгустков с помощью ДИ от двух щелей. Основная часть результатов диссертационной работы посвящена анализу угловых зависимостей ДИ при разных параметрах системы и пучка.

Актуальность темы исследования определяется растущими потребностями в высокоточной невозмущающей диагностике электронных ультрарелятивистских пучков на современных ускорителях и коллайдерах, работающих с пучками высокой яркости и малыми поперечными размерами. Использование ДИ от одной щели дает ряд преимуществ для диагностики, однако проблемой остается невозможность экспериментально отличить влияние поперечных размеров пучка на угловое распределение ДИ от влияния смещения центра пучка относительно центра щели. Таким образом, анализ ДИ в системе из двух щелей позволит оптимизировать применение ДИ для диагностики сгустков заряженных частиц.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений; содержит 118 страниц текста и 41 рисунок, список литературы насчитывает 110 наименований.

Первая глава диссертационной работы посвящена обзору современного состояния области использования электронных пучков высокой яркости – лазеров на свободных электронах и электрон-позитронных коллайдеров, описанию существующих методов диагностики электронных пучков.

В первом разделе кратко описана история развития линейных и циклических коллайдеров.

Во втором разделе дано описание ондуляторного излучения и лазера на свободных электронах.

В третьем разделе дан краткий обзор контактных методов диагностики электронных пучков: использование люминофорных экранов, использование вторично-эмиссионных датчиков, основанные на переходном излучении схемы.

Вторая глава посвящена обзору общих свойств ДИ, в частности, зависимости форм-фактора пучка при ДИ от расходимости.

В первом разделе второй главы приводится вывод выражения для поля движущейся в вакууме заряженной частицы. Приведена оценка прицельного параметра, при котором ДИ существенно.

Во втором разделе описан метод псевдофотонов и его применение к расчету характеристик дифракционного излучения.

В третьем разделе приведено выражение для спектрально-углового распределения ДИ от ультрарелятивистской частицы, показана зависимость интенсивности излучения от частоты. Приведено выражение для полных потерь электрона на ДИ и приведена оценка для электрона с энергией 1 ГэВ.

В четвертом разделе приведено условие, ограничивающее применение приближения волновой зоны для ДИ от ультрарелятивистских частиц. Показано угловое распределение ДИ для разных значений расстояния от источника до точки наблюдения. Отмечено, что угловое распределение ДИ в волновой зоне уширяется с уменьшением расстояния до источника; для щели распределение ДИ разделяется на две части: от одной и другой полуплоскости.

Пятый раздел посвящен исследованию зависимости форм-фактора электронного пучка от его расходимости. Приведены выражения для продольного когерентного форм-фактора пучка с нулевой расходимостью, с учетом расходимости в поперечном направлении без учета поперечного размера и с учетом расходимости в поперечном направлении с учетом поперечного размера. Приведена оценка вклада расходимости в форм-фактор электронного пучка с энергией 500 MeV (Лоренц-фактор $\gamma = 1000$), длиной волны 800 нм и прицельным параметром 1 мм, дающая множитель ≈ 0.82 к значению форм-фактора без учета расходимости.

В данной главе показано, что расходимость ультрарелятивистского электронного пучка порядка $(\pi\gamma)^{-1}$ дает дополнительный множитель, зависящий от прицельного параметра, к форм-фактору пучка в ДИ.

В третьей главе описаны схемы диагностики электронных сгустков, основанные на ДИ от одной и двух щелей. Показаны полученные в результате численного моделирования зависимости углового распределения ДИ от параметров пучка и системы.

В первом разделе третьей главы исследуется зависимость углового распределения ДИ от одной щели от поперечных размеров пучка, расходимости пучка, положения центра сгустка ультрарелятивистских электронов относительно центра щели. С помощью построенных математических моделей показано, что влияние всех трех параметров на угловое распределение ДИ одинаково. Отмечено, что только влияние положения пучка относительно центра может быть экспериментально отделено от влияния двух других параметров.

Во втором разделе с помощью математического моделирования исследуется ДИ от системы из двух щелей, в которой размер первой щели превышает размер второй щели. Приведено выражение для поля излучения от такой системы. Сравнение углового распределения от такой системы с угловым распределением от системы с одной щелью демонстрирует снижение интенсивности излучения в направлении центральных максимумов и увеличение интенсивности побочных максимумов для двухщелевой системы. Показано, что для двухщелевой системы влияние размера и расходимости пучка различны и могут быть определены одновременно.

В третьем разделе рассматривается влияние эффектов предволновой зоны на угловое распределение ДИ в двухщелевой системе, в условиях, когда вторая щель находится в предволновой зоне первой щели. Приведено выражение для поля излучения от первой щели в предволновой зоне. Показано, что пространственное распределение излучения от первой щели на экране второй щели представляет собой два отдельных пика излучения от верхней и нижней полуплоскостей щели. Сравнение интенсивности излучения от первой щели с учетом потерь при отражении от второй щели и без учета потерь для разных значений относительного смещения центров двух щелей показывает, что при небольших смещениях щелей потери ДИ при отражении проявляются слабо, а при больших смещениях эти эффекты сильно влияют на угловое распределение ДИ. Таким образом, эффекты предволновой зоны незначительно влияют на угловое распределение ДИ при малых смещениях центров щелей. Приведено условие, при котором все еще происходит отражение ДИ от второго экрана. Отмечено, что для систем с равными размерами щелей, даже в случае, когда между ними нет смещения, потери при отражении существенны.

В четвертом разделе рассмотрено собственно влияние смещения центров щелей на угловое распределение ДИ в двухщелевой системе. Приведено выражения для поля излучения с учетом величины смещения центров щелей. Показано, что характер изменений, вызываемых смещением щелей относительно друг друга, не совпадает с аналогичным, вызываемым изменением других параметров. Показаны угловые распределения ДИ для разных значений смещения полуплоскостей одного экрана. Показано, что данный параметр значительно влияет на угловое распределение ДИ.

В данной главе показана правомерность применения приближения предволновой зоны для ДИ от двухщелевой системы при малых смещения между центрами щелей. С помощью программного кода построены угловые распределения ДИ для разных параметров пучка и системы. Приведены результаты исследований влияния смещения центров щелей на эти распределения.

В четвертой главе представлены экспериментальные данные Tesla Test Facility (TTF) FLASH по измерению углового распределения ДИ от двух щелей в зависимости от смещения центров щелей относительно друг друга.

В первом разделе четвертой главы приведено общее описание TTF FLASH.

Во втором разделе изложено описание экспериментальной установки: схема генерации ДИ как двухщелевая система.

В третьем разделе изложены результаты экспериментов с вертикальным смещением щелей относительно друг друга для двух значений длин волн – 500 и 800 нм. Продемонстрировано хорошее совпадение численных расчетов с экспериментальными данными.

В четвертом разделе приводятся описание экспериментов по определению поперечного эмиттанса пучка на длине волны 800 нм. Приведено краткое описание понятия эмиттанса. Отмечено, что представленный метод определения параметров пучка на основе углового распределения ДИ от двухщелевой системы дает результаты, хорошо совпадающие со значениями, полученными при диагностике пучка с помощью переходного излучения.

В данной главе показано хорошее совпадение результатов численного моделирования с экспериментальными данными по измерению углового распределения ДИ от двух щелей в зависимости от смещения центров щелей относительно друг друга.

В Заключении сформулированы основные выводы диссертации.

Достоверность результатов диссертации подтверждается согласием результатов построенных автором теоретических моделей с результатами численного моделирования и с экспериментальными данными, полученными на TTF FLASH (DESY, Германия).

Новизна полученных В.С. Шпаковым научных результатов определяется результатами анализа пределов применимости приближения предволновой зоны для ДИ в случае использования систем их двух щелей, анализом влияния расходимости пучка на его форм-фактор и проведением

компьютерного моделирования угловых распределений ДИ от двух щелей для сравнения с экспериментальными данными.

Рекомендации автора к практическому внедрению полученных им результатов следует признать **обоснованными**, ввиду надежности применявшихся им методов.

В диссертации можно отметить следующие недостатки:

1. Материал изложен так, что часто не понятно, что делал автор, а что сделано до него.

2. Текст диссертации местами оформлен небрежно. Так, в приложении с кодом программы текст на страницах 108, 109 вылезает за рамки страницы, при чтении заметны опечатки и грамматические ошибки. Текст насыщен профессиональным жаргоном: употребляются выражения типа «предложенные модели сравнивались с экспериментальными данными», «выражение для ДИ», и другие. Некоторые термины, например «ближнее поле», употребляются некорректно: автор имеет ввиду не собственно общеизвестную зону ближнего поля, где, например, имеют место явления изучающиеся в ближнеполевой оптике, а предволновую зону при анализе поля излучения, обусловленную конечным размером излучающей области, и физически расположенной много дальше, чем зона ближнего поля. Термин интенсивность (“intensity”, на графиках по всему тексту), автор применяет как к спектрально-угловому распределению излученной энергии, так и к угловому, а также и к полным потерям на излучение. Из подписей к рисункам невозможно понять, по какой именно формуле проводился расчет и построены кривые на графиках, что затрудняет чтение работы. Также, по тексту диссертации трудно понять, какие результаты автор считает наиболее важными, какие второстепенными.

3. В тексте говорится об экспериментах, проведенных в интересующей области, без указания автора и времени проведения эксперимента, см., например, гл. 4., эксперимент об определении эмиттанса с двухщелевой мишенью на TTF FLASH.

4. Все графики для “интенсивности” приведены в относительных единицах. Это позволяет оценить, например, форму линии в случае углового распределения, однако, не дает возможности оценить степень совпадения или различия сравниваемых распределений, для которого высота графиков играет определяющую роль.

5. На стр. 46 некорректно утверждается, что некогерентный форм-фактор, исследованный в работе NIMB 2014, D.Yu. Sergeeva et al, меньше единицы. В этой работе как раз показано, см. рис. 2, что некогерентный форм-фактор всегда больше единицы.

6. В работе не проведено сравнения влияния расходимости пучка на характеристики излучения по модели автора с результатами статьи N.A. Potylitsyna-Kube, X. Artru, NIMB 2003, в которой впервые построена теория и численное моделирование влияния расходимости пучка на характеристики дифракционного излучения, в т.ч. от щели.

7. При учете автором расходимости только в форм-факторе и отсутствии анализа влияния расходимости на полные спектрально-угловые характеристики излучения остается непонятным, каков же действительный вклад рассмотренного автором эффекта расходимости. При этом есть основания полагать, что учет вклада зависимости от углов одночастичного распределения, который автор оставляет без анализа, может играть значительную роль при учете расходимости пучка, ввиду заметного изменения геометрии распределения максимального излучения: при наличии угла между траекторией частицы и краем мишени максимум излучения лежит не на плоскости, как при нормальном пролете, а распределен по конусу (см., например, O. Haerberle et al, PRE, 1997), что приведет к значительному ослаблению вклада частиц в измеряемую детектором величину с ростом угла между траекторией частиц и краем экрана.

8. Оценка практической ценности полученных автором результатов, касающихся расходимости пучка, неясна ввиду того, что автор не принял во внимание бета-функцию пучка и даже не провел оценки ее влияния.

9. Из выражений (2.59)-(2.62) автора следует, что распределение частиц в сгустке и распределение по скоростям определяют некоторый единый форм-фактор. Между тем, в известной работе Y. Shibata et al, PRE, 1994, где было теоретически и экспериментально исследовано влияние расходимости пучка на характеристики переходного излучения, по своей природе очень близкого к дифракционному излучению, показано, что форм-фактор факторизуется в плане зависимости от распределения частиц в сгустке и распределения по скоростям. Было бы интересно увидеть обсуждение различия в подходах автора и авторов указанной статьи.

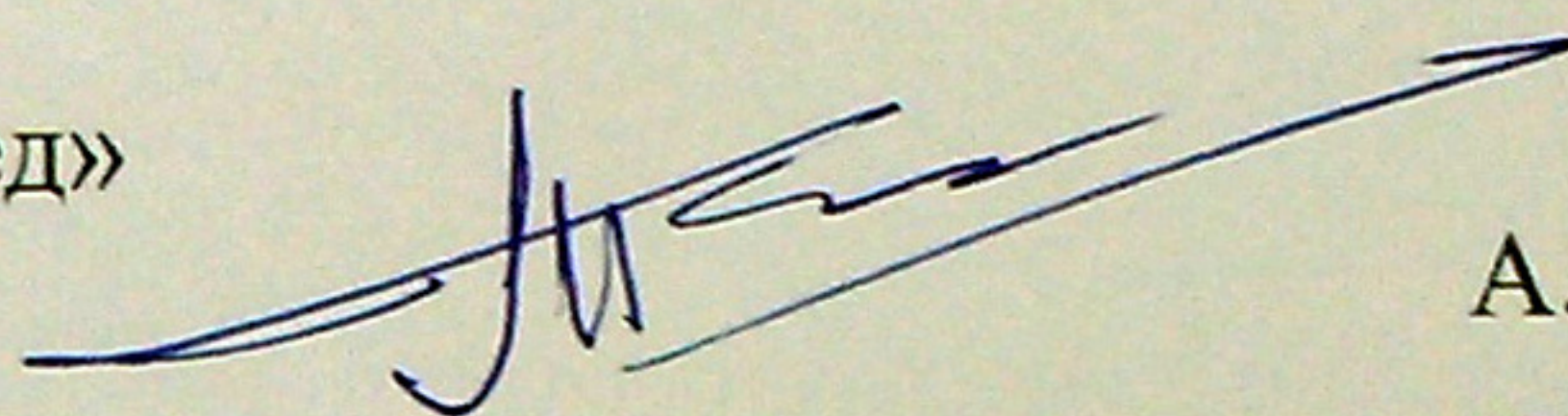
Отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки проведенных В.С. Шпаковым исследований. Автор представил в диссертации подробный анализ влияния на угловые распределения ДИ от щели трех параметров: относительного смещения центров щелей, смещения центра пучка от центра щели и поперечного размера пучка. Проведённые исследования, несомненно, найдут применение в установках для диагностики электронных сгустков, что определяет высокую значимость полученных автором диссертации результатов для науки.

Полученные в ходе исследований результаты имеют как научное, так и практическое значение. Они могут быть использованы при проведении экспериментальных исследований реализуемых в данной области физики лабораторией SPARC-LAB Национальной Лаборатории Фраскати на

установке SPARC. Основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в рецензируемых научных журналах и доложены на представительных научных конференциях, известны большинству активно работающих в этом направлении физиков.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация В.С. Шпакова «Диагностика ультрарелятивистских электронных пучков с помощью двухщелевой системы дифракционного излучения» представляет собой законченное научное исследование. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации, а ее автор, Шпаков Владимир Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 за существенный вклад в развитие методов диагностики электронных пучков на основе ДИ.

Официальный оппонент
Зам. зав. кафедрой
«Физика конденсированных сред»
к.ф.-м.н., доцент

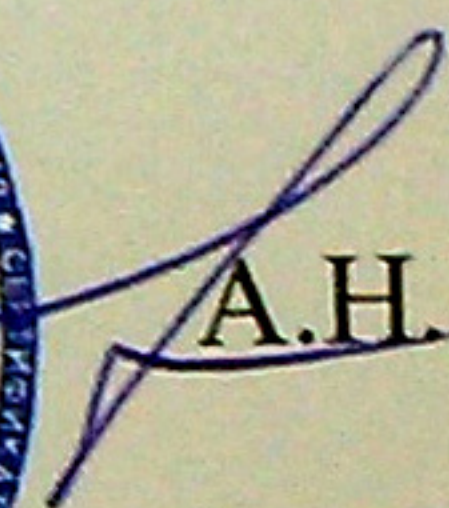
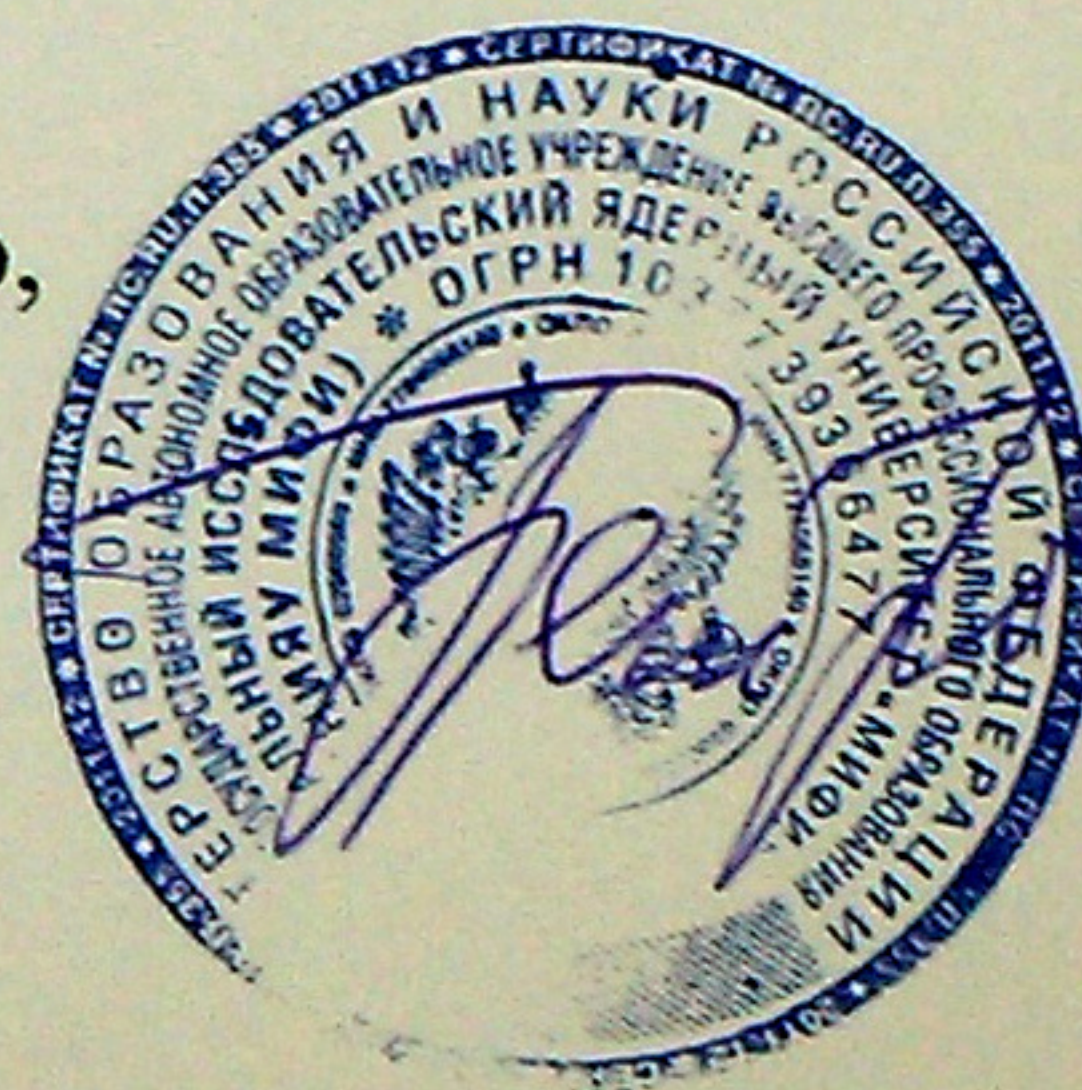


А.А. Тищенко

30.05.2014

Подпись А.А. Тищенко удостоверяю,

Проректор НИЯУ МИФИ



А.Н. Петровский