

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Гоголева Сергея Юрьевича "КОГЕРЕНТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СГУСТКОВ В РАДИАТОРАХ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

**Актуальность темы.** Работа Гоголева С.Ю. посвящена теоретическому исследованию процесса когерентного излучения, генерируемого за счет поляризации прозрачного диэлектрика пролетающим через него (или вблизи его границы) ультрарелятивистским сгустком электронов конечного размера. Это может быть Излучение Вавилова-Черенкова (ИВЧ), Переходное Излучение (ПИ) и Дифракционное Излучение (ДИ). Поскольку для рассматриваемых параметров электронного сгустка это излучение лежит в терагерцовом диапазоне длин волн (длина волны 100 – 500 мкм) теоретические закономерности и результаты диссертации представляются крайне актуальными.

**Содержание диссертации.** Во **Введении** дан краткий, но исчерпывающий обзор истории вопроса и современной его проблематики, сформулированы цели и задачи исследования, приведены защищаемые научные положения, их новизна и личный вклад соискателя.

**Первая глава** посвящена детальному изложению метода поляризационных токов для немагнитных прозрачных однородных и изотропных сплошных сред. Суть этого метода заключается в том, что зная электрическое поле в данной точке, можно через комплексную проводимость вычислить локальную плотность тока поляризации. Знание тока поляризации позволяет с помощью уже известных точных решений уравнений Максвелла рассчитать магнитное поле излучения в дальней зоне (с ним жестко связано электрическое поле электромагнитной волны). Зная обе компоненты поля волны, нетрудно рассчитать как спектральное, так и угловое распределение плотности мощности электромагнитного излучения. Ценность метода заключается также в его применимости к средам с частотной дисперсией и Фурье-компонентам электрических полей. Ограничения применимости метода обусловлено однородностью среды и наличием только резких границ диэлектрика.

Для ультрарелятивистских сгустков стандартной является ситуация, когда за счет лоренцевского сокращения сгусток может иметь микронные продольные размеры, меньшие длин волн излучения. В этом случае ИВЧ в дальней зоне становится когерентным (КИВЧ), то есть угловая плотность мощности может квадратично зависеть от числа электронов в сгустке.

**Вторая глава** посвящена исследованию ИВЧ и ДИ, генерируемого при пролете релятивистских сгустков вблизи поверхности диэлектрика, в том числе и с конечными размерами вдоль траектории пучка. При этих расчетах получены аналитические выражения для спектрально-угловой плотности энергии излучения в веществе, демонстрирующие отчетливую азимутальную анизотропию диаграммы направленности. Расчеты показали, что в зависимости от размера сгустков и диэлектрической мишени ДИ может на несколько порядков превышать радиационные потери в оптическом диапазоне за счет ИВЧ.

**Третья глава**, самая объемная, посвящена расчету ПИ, ДИ и ИВЧ при наклонном пролете электронов под углом к диэлектрику. Здесь подробно проанализированы азимутальные зависимости КИВЧ и КДИ. Отдельно описана генерация КДИ при пролете сгустка с угловой расходимостью вблизи диэлектрической пластины конечной толщины, что открывает возможности использовать эту геометрию задачи для неискажающей диагностики ультракоротких пучков электронов.

**В четвертой главе** проведены численные расчеты по генерации КИВЧ при пролете пучка через центральный канал конической мишени. Здесь получен, на мой взгляд, самый оригинальный результат этой теоретической работы. Речь идет о расчете излучения при взаимодействии электронов с диспергирующей средой. В частности, показано, что при наличии частотной дисперсии (в работе был использован иодид цезия с известной функцией дисперсии диэлектрической проницаемости) происходит заметная дискриминация КИВЧ по полярному углу. Это открывает реальную возможность для невозмущающей количественной диагностики параметров электронного пучка методом исключительно угловых измерений диаграммы направленности КИВЧ.

**Пятая глава** посвящена рассмотрению крайне не симметричных случаев взаимодействия пучков и диэлектриков: конечные, в том числе небольшие по сравнению с размерами сгустка поперечные размеры прямоугольной диэлектрической пластины, «косой» сгусток электронов, у которого оси симметрии не совпадают с направлением его импульса.

**В Заключении** сформулированы итоговые выводы о проделанном исследовании.

**Достоверность и новизна исследования, обоснованность защищаемых научных положений.** Все защищаемые положения хорошо обоснованы и верно отражают полученные автором диссертации новые количественные закономерности. Их достоверность и новизна не вызывает сомнений, так как они базируются на первых принципах классической электродинамики сплошных сред и получены математически корректными методами.

Диссертация демонстрирует высокую квалификацию Гоголева С.Ю. в области теоретической электродинамики взаимодействия электронов со сплошной средой и хорошее владение математическим аппаратом по расчетам когерентного излучения.

**Недостатки в содержании и оформлении диссертации.** У меня есть ряд замечаний по содержанию и оформлению диссертации.

1. Защищаемое положение 3, на мой взгляд, сформулировано слишком расплывчато. В нем не отражен самый существенный момент – наличие ярко выраженной спектрально-угловой дискриминации КИВЧ при взаимодействии электронов с частотно-диспергирующим

угловой дискриминации КИВЧ при взаимодействии электронов с частотно-диспергирующим диэлектриком.

2. Ключевая формула (1.19) приведена автором без какого-либо указания источника. Желательно все же дать ссылку, где эта формула выводится из первых принципов.

3. На рис. 3.4 в области углов ПИ заметен растровая картинка, хотя на графиках этого же распределения на рис. 3.3 этих «колебаний» нет. В чем причина этой разницы?

4. В Таблице 3.1 приведены параметры электронного пучка, но не указаны длительность микроимпульсов и степень заполнения ими макроимпульса. Отсутствие этих данных не позволяет определить ключевые пространственные размеры сгустков в экспериментах, на которые ссылается автор.

5. В главе 5 автор рассчитывает излучение от мишени в виде прямоугольного параллелепипеда. Чем обусловлена именно эта форма мишени? На мой взгляд, дисковая мишень более показательна для расчетов.

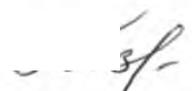
Эти замечания не снижают ценности исследовательской работы в целом. Основные выводы диссертации достаточно полно представлены в опубликованных статьях. Среди 6 научных публикаций автора по теме диссертации 4 статьи индексируются в международных базах Web of Science и Scopus, и 1 статья опубликована в «ВАКовском» журнале Известия вузов. Физика.

Автореферат содержит всю необходимую информацию о работе и адекватно отражает содержание диссертации.

Диссертация представляет собой законченную исследовательскую работу, удовлетворяющую всем требованиям (пп. 8–11) «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете», а ее автор Гоголев С.Ю. заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

**Козырев Андрей Владимирович**, заведующий лабораторией теоретической физики  
ФГБУН Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии  
наук (ИСЭ СО РАН), 634055, Томск, пр-т Академический, 2/3  
[kozyrev@to.hcei.tsc.ru](mailto:kozyrev@to.hcei.tsc.ru)

доктор физико-математических наук, профессор

 А.В. Козырев

Подпись Козырева А.В. удостоверяю  
Ученый секретарь ИСЭ СО РАН, д-р физ.-мат. наук



 И.В. Пегель

25.11.2020г.