

О Т З Ы В

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.05 на базе ФГАОУ ВО
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, доктора
физико-математических наук, Фикса Александра Ивановича на диссертацию
Гоголева Сергея Юрьевича
«КОГЕРЕНТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА РЕЛЯТИВИСТСКИХ
ЭЛЕКТРОННЫХ СГУСТКОВ В РАДИАТОРАХ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Актуальность темы

Эффект Вавилова-Черенкова является эффективным инструментом детектирования элементарных частиц и широко используется, в частности, в экспериментальной ядерной физике. Совершенствование технологий ускорения электронных сгустков в субпикосекундном диапазоне привело к необходимости разработки новых методов расчета спектрально-угловых характеристик излучения, генерируемого в радиаторах произвольной конфигурации. К одним из наиболее эффективных методов, позволяющих определять поляризацию, интенсивность и другие характеристики излучения в широком частотном диапазоне, относится метод поляризационных токов. Его существенным преимуществом является возможность непосредственного учета как характеристик диэлектрических мишеней, имеющих произвольную форму, так и различных условий пролета сгустка произвольной конфигурации. В представленной диссертантом работе проведено исследование спектрально-угловых характеристик излучения Вавилова-Черенкова (ИВЧ). В основу исследования положен усовершенствованный автором метод поляризационных токов от однородных, немагнитных прозрачных сред при учете различных наборов параметров, характеризующих геометрию пролета заряда относительно мишени. Таким образом, проведенные в диссертации исследования являются актуальными и обеспечивают хорошую основу для дальнейшего прогресса в этой области.

Научная новизна работы

Основные результаты, полученные диссертантом, и сформулированные в заключительной части диссертации, а также выносимые на защиту положения следует считать новыми. В работе впервые детально рассмотрены азимутальные распределения ИВЧ в оптическом диапазоне для бесконечного радиатора и радиатора конечной толщины с поперечными гранями. Большое значение имеет построенная автором модель для расчета спектрально-угловых характеристик когерентного ИВЧ. Следует также отметить выражение для расчета азимутального распределения излучения при наклонном пролете через конечный диэлектрический радиатор, а также выражение для расчета когерентного форм-фактора при наклонном пролете электронного сгустка с первоначальной расходимостью внутри радиатора, впервые полученные в представленной работе. Наконец, новизну работы характеризует представленная модель для расчета спектрально-угловых характеристик поляризационного излучения, которое генерируется мононаправленным сгустком с асимметричным зарядовым распределением в диэлектрике конечных размеров.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты диссертации могут быть использованы в качестве основы для дальнейшего развития методов исследования спектрально-угловых характеристик ИВЧ.

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертация Гоголева С.Ю. состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Во введении обосновывается актуальность исследования, формулируется цель, основные задачи работы и положения, выносимые на защиту. Здесь же дается краткий обзор подходов, применяемых для исследования характеристик когерентного поляризационного излучения, описывается предлагаемый автором метод для решения поставленных задач, характеризуется новизна полученных результатов, указывается их апробация, а также дается краткое изложение содержания диссертации.

В первой главе автором дано описание метода поляризационных токов для различных сред. Приведены решения уравнений Максвелла в виде Фурье-компоненты напряженности магнитного поля поляризационного излучения в среде, из которых следует, что расчет характеристик излучения и определение их зависимости от конфигурации радиатора сводится к нахождению Фурье-образа собственного электрического поля частицы. В случае, когда среда обладает частотной дисперсией, автором приведены соответствующие Фурье-образы поля мононаправленного ансамбля и ансамбля частиц с первоначальной расходимостью. В главе получено выражение для спектрально-угловой плотности поляризационного излучения, на основе которого могут быть рассчитаны характеристики излучения, испущенного в вакуум через выходную грань радиатора, не учитывающего эффекты переотражения волн внутри радиатора и преломление торцевыми плоскостями, перпендикулярными выходной грани радиатора. Здесь же проанализированы наиболее существенные ограничения метода.

Во второй главе исследовано азимутальное распределение оптического ИВЧ, а также радиационные потери на излучение в двух различных случаях. В первом из них заряд движется параллельно поверхности бесконечного плоского диэлектрика. Во втором случае происходит взаимодействие заряда с неоднородностью, в качестве которой выступает передняя входная грань радиатора конечной толщины. Автором представлены расчеты, результаты которых показывают, что увеличение оптической плотности среды приводит к усилению локализации азимутального распределения ИВЧ. В то же время при уменьшении импакт-параметра h (при неизменном значении скорости заряда) происходит размазывание углового распределения. Наоборот, с ростом скорости при фиксированном значении h интенсивность излучения в плоскости, перпендикулярной границе раздела, становится исчезающе малой. В этой же главе автором получено выражение для спектрально-углового распределения плотности энергии поляризационного излучения в веществе. Автор делает вывод о том, что появление аксиальной асимметрии в геометрии излучения с неизбежностью ведет к азимутальной асимметрии излучения. Потери энергии на излучение для радиатора конечной толщины в случае, когда импакт фактор превышает половину максимальной длины волны рассматриваемого диапазона ($h > 0.3$ мкм), оказываются на несколько порядков больше аналогичных потерь для радиатора, имеющего бесконечную толщину.

В третьей главе автор исследовал азимутальное распределение ИВЧ, которое появляется при наклонном пролете частицы через радиатор конечной толщины с бесконечными поперечными размерами. Полученные в работе результаты автор сравнивает с результатами метода изображений. Здесь же с помощью метода поляризационных токов получено выражение для спектрально-углового распределения плотности энергии поляризационного излучения в случае произвольного пролета заряженных частиц, а также основные выражения для плотности энергии когерентного поляризационного излучения в вакууме при наклонном пролете с нормальным распределением частиц вблизи диэлектрической пластины. Также, как и во второй главе,

проанализированы основные ограничения на применимость модели, связанные с размерами мишени и отсутствием пересечения сгустка с мишенью.

В четвертой главе рассмотрены спектрально-угловые характеристики когерентного ИВЧ в субмиллиметровом диапазоне длин волн. Исследования проведены на примере конической мишени с внутренним вакуумным каналом. Для этого, с помощью метода поляризационных токов, решена задача равномерного прямолинейного пролета мононаправленного сгустка с определенной энергией вдоль оси вакуумного канала конической мишени, обладающей частотной дисперсией в субмиллиметровом диапазоне.

В пятой главе диссертации исследованы спектрально-угловые характеристики когерентного ИВЧ, генерируемого коротким электронным сгустком, пролетающим через мишень с диэлектрической проницаемостью $|\epsilon| < 2$. Определенное внимание автор уделил изучению зависимости результатов от поперечных размеров мишени и от степени асимметрии распределения заряженных частиц в сгустке. В главе получено выражение, позволяющее найти распределение энергии в случае, когда как продольные, так и поперечные размеры радиатора конечны. Здесь дано выражение для интенсивности излучения, применимое к ансамблю заряженных частиц. В конце главы исследовано угловое распределение когерентного ИВЧ с асимметричным распределением заряда.

В заключении автор формулируются основные результаты работы.

Замечания

По работе имеются следующие замечания.

1. Определение $g'_{\text{eff}} \sim \beta\gamma\lambda$ (см. стр. 19) представляется характеристикой верхней оценки области интегрирования по объёму радиатора. По-видимому, реальная оценка этой величины должна зависеть от характеристик радиатора (т.е. от диэлектрической проницаемости ϵ).
2. На рис. 3.7 приведена нелинейная зависимость интенсивности ИВЧ от толщины радиатора. По теории Тамма-Франка подобная характеристика в материале радиатора должна быть пропорциональна длине траектории заряда (толщине радиатора). Автор диссертации должен был проанализировать полученный результат и сопоставить с формулами Тамма-Франка.
3. На рис. 5.3 показано, что интенсивность ИВЧ подавлена если выполняется критерий $\gamma\lambda > H_y$ (H_y – поперечный размер радиатора). Представляется, что критерий подавления выхода ИВЧ для конечного поперечного размера радиатора должен также зависеть от ϵ .

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключение по диссертации

Диссертация является законченным научным исследованием и выполнена на высоком уровне. Автором проведено решение важных задач в области физики излучения Вавилова-Черенкова. Представленные в работе результаты достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, таблицы и графики. Большим достоинством диссертации являются приведенные в конце каждой главы обсуждения полученных результатов, что способствует более глубокому пониманию материала. Работа изложена квалифицированно и аккуратно оформлена. Основные этапы выполнения работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Результаты докладывались и обсуждались на многочисленных конференциях и научных семинарах.

Диссертация отвечает требованиям п.п. 8-10 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете» (dis.tpu.ru), утвержденным Приказом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» от 06 декабря 2018 г. No 93/од, а её автор, Гоголев Сергей Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.05

Профессор Исследовательской школы
физики высокоэнергетических процессов,
ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский
Томский политехнический университет",
д.ф.-м.н.



Фикс Александр Иванович

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел.: 8 (3822) 06 35
E-mail: fix@tpu.ru

«25» ноября 2020 г.

Подпись Фикса А.И. удостоверяю

Ученый секретарь НИ ТПУ

«26» 11 2020 г.



Ананьева Ольга Александровна