

Пространственно-временные характеристики излучения Вавилова-Черенкова в материалах с дисперсией.

Ткаченко Н.И.

Руководитель: аспирант 2-го года Щепкин А.А.(ИТМО)

Введение. Излучения света заряженной частицей происходит не мгновенно и не в абстрактной точке, а занимает определённый период времени и определённую область пространства. Большинство теорий рассматривают упрощённую модель – частица имеет определённый импульс, а, следовательно, по принципу неопределённости Гейзенберга, её положение полностью не определено (см, например, [1,2]). В реальности же излучаемая частица всегда представляет собой волновой пакет с определённым распределением импульсов, что, следовательно, даёт определённую область локализации в пространстве (см., например, [3]). Учёт этих явлений критически важен при измерениях времени с атто- и фемтосекундной точностью. Например, при работе с Черенковскими детекторами необходимо точно знать характеристики излучения в диспергирующих средах для идентификации излучающих частиц, их скоростей и энергий, что ранее методически не рассматривалось.

Идея данного проекта – выяснить влияние частотной дисперсии среды на формирование и распространение поля излучения Вавилова-Черенкова, воспользовавшись его квантовым описанием и выявить существенные отличия от классического поведения излучения.

Основная часть. В соответствии с работой [3] были выбраны следующие характеристики излучения для исследования как наиболее иллюстративные:

1. Время формирования – время, за которое все компоненты поля излучения электрона, имеющие определённую частоту и направление распространения, деструктивно или конструктивно интерферируют.
2. Радиус корреляции – радиус, до которого поле излучения в процессе своего формирования распространилось за время t .
3. Продолжительность вспышки излучения – временной промежуток, в течение которого рождается фотонное поле в процессе излучения. Также, в течение данного времени при заданных координатах детектора вероятность обнаружить фотон максимальна.

В качестве примеров материалов с дисперсией были выбраны коэффициенты преломления алмаза в диапазоне длин волн от 0.03 мкм до 10 мкм (см. [4]) и воды в диапазоне длин волн от 0.2 мкм до 200 мкм (см. [5]).

В предыдущей работе [3], было установлено, что углы, при которых время дифракции стремится к бесконечности (то есть составляющие волны интерферируют только конструктивно), приблизительно равны Черенковскому углу.

Данное же исследование говорит о значительном отличие углов конструктивной интерференции от Черенковского угла. Наиболее сильное отклонение наблюдается при энергии фотона, находящейся вблизи линий поглощения веществ. Здесь углы конструктивной интерференции становятся равными 0° и 180° , то есть излучение начинает происходить только вдоль направления движения электрона. Отличие от Черенковского угла может быть частично объяснена «отдачей», которую испытывает электрон при излучении.

Выводы. В результате работы было получено, что учёт дисперсии в материалах может давать значительные отклонения пространственно-временного распределения

квантового поля излучения от его стандартного распределения, описываемое классической электродинамикой без учёта дисперсии материалов. В дальнейшем, полученные результаты могут быть проверены в экспериментах на ускорителях или коллайдерах и могут быть использованы в качестве модели для калибровки Черенковских и других типов детекторов.

Источники:

1. И. Е. Тамм, И. М. Франк. Когерентное излучение быстрого электрона в среде. Докл. Акад. Наук СССР, 14, 107–112 (1937).
2. Б.М. Болотовский. Теория эффекта Вавилова-Черенкова // УФН, **62**, 3, 201-246 (1957).
3. D. Karlovets et al. Attosecond physics hidden in Cherenkov radiation // Communications Physics, **8**, 192 (2025).
4. <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=C&page=Phillip>
5. <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=H2O&page=Hale>