

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТА ПОВОРОТА КИЛЬВАТЕРНОГО ПОЛЯ, СОЗДАННОГО ПУЧКОМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Чуприна А.Н.¹

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Батулин С.С.¹

¹Университет ИТМО

anna.chuprina@metalab.ifmo.ru

Исследование проводилось при поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» — грант № 22-1-2-47-17.

Введение

Ускорители заряженных частиц - установки, позволяющие разгонять элементарные частицы до высоких энергий. В последнее время в области физики высоких энергий появляется все больше исследований альтернативных методов ускорения, а именно лазер-плазменного и пучково-плазменного ускорения[1]. Данные методы в будущем позволят построить компактные и недорогие установки для создания качественных высокоэнергетических пучков частиц. Динамика частиц в таких ускорителях исследуется экспериментальными и аналитическими методами, а также с помощью численного моделирования.

Основная часть

В 2024 году группа американских исследователей опубликовала статью, в которой наблюдался экспериментальный эффект поворота кильватерного поля пучка в ускорителе[2]. Теоретического объяснения эффекта приведено не было. В данной работе удалось провести теоретическое исследование этого эффекта, а также получить компактные аналитические формулы для угла поворота пучка и амплитуды поля.

Работа состоит из двух частей:

1) Исследование динамики трех частиц. В данной модели исследуется векторное силовое поле, создаваемое тремя точечными зарядами в кильватерном ускорителе. Изучается поворот кильватерного поля частиц вследствие поворота самих частиц на некоторый угол. В ходе анализа модели производится линеаризация поля в центре волновода, а затем исследуется матрица поворота поля. Используются методы линейной алгебры и комплексного анализа.

2) Исследование динамики пучка с непрерывным гауссовым распределением плотности заряда. В этой модели исследуется поворот кильватерного поля при повороте эллиптического пучка. Поперечный кильватерный потенциал пучка находится по принципу суперпозиции путем интегрирования функции Грина одночастичной задачи с плотностью распределения заряда в повернутом пучке. Для анализа интегралов используется теория функции комплексного переменного, а также асимптотические методы вычисления.

Выводы

Проведен анализ кильватерного поля, создаваемого тремя частицами и эллиптическим пучком. В результате установлено, что сепаратрисы поля поворачиваются навстречу поворота пучка на угол, в полтора раза больший угла поворота пучка. При этом амплитуда кильватерного поля возрастает менее чем в 1,0025, что позволяет считать наблюдаемый эффект паразитным и в дальнейшем учитывать его появление при проведении экспериментов.

Литература

1. Adli E., Ahuja A., Apsimon, et al. Acceleration of electrons in the plasma wakefield of a proton bunch // Nature. 2018. Vol. 561, no. 7723. P. 363–367.

2. Lynn W., Xu T., Andonian, et al. Observation of skewed electromagnetic wakefields in an asymmetric structure driven by flat electron bunches // Physical Review Letters. 2024. Vol. 132. P. 165001.