

Тема работы:

Моделирование захвата плазменных электронов кильватерной волной в квазистатическом коде

Состав коллектива:

Лотов Игорь Константинович, iklotov@yandex.ru, студент НГУ,

Петр Викторович Туев, с.н.с ИЯФ СО РАН, p.v.tuev@inp.nsk.su

Финансовая поддержка:

Работа не выполняется ни по какому гранту

Постановка задачи:

Работа посвящена нахождению способа устойчивого моделирования захвата плазменных электронов в коде с квазистатическим приближением, дающего количественное согласование параметров захваченного витнесса с моделированием из первых принципов.

Современное состояние проблемы:

В последнее время все больше исследований посвящено уменьшению размеров ускорителей заряженных частиц. Плазменное кильватерное ускорение – удачный для этого метод, при котором электроны ускоряются в полях, достигающих сотен ГВ/м [1]. Особенно интересным представляется режим ускорения, для которого не требуется отдельный инжектор ускоряемых частиц. В этом случае ускоряемый пучок формируется из захваченных волной плазменных электронов. Захват происходит в сильно нелинейном режиме взаимодействия, для исследования которого используют численное моделирование [2]. Современные задачи требуют значительных вычислительных мощностей, поэтому важно развивать эффективно их использующие программные комплексы (коды), например, код LCODE [3]. Он использует квазистатическое приближение [2], дающее выигрыш в быстродействии вплоть до 6 порядков в сравнение с моделированием из первых принципов [4]. Однако пока что попытки обеспечить устойчивое моделирование захвата в квазистатическом приближении, так чтобы моделирование давало не только качественное представление о происходящих процессах, успеха не достигали.

[1] Albert F., Couprie M.E., Debus A., Downer M.C., Faure J., Flacco A., Gizzi L.A., Grismayer T., Huebl A., Joshi C., Labat M., Leemans W.P., Maier A.R., Mangles S.P.D., Mason P., Mathieu F., Muggli P., Nishiuchi M., Osterhoff J., Rajeev P.P., Schramm U., Schreiber J., Thomas A.G.R., Vay J.-L., Vranic M., Zeil K. // *New J. Phys.* 2021. № 23. С. 031101.

[2] Vay J.-L., Lehe R. // *Rev. Accelerator Science Technology.* 2016. № 9. С. 165.

[3] lcode <https://lcode.info/>.

[4] Дорожкина М.С., Балугев К.В., Кутергин Д.Д., Лотов И.К., Минаков В.А., Спицын Р.И., Туев П.В., Лотов К.В. // *Квантовая электроника.* 2023. № 53. С. 176.

Описание работы:

Ограничения квазистатического приближения связаны с моделированием быстрых электронов плазмы. Естественный способ обеспечить правильное описание быстрых плазменных электронов при захвате – в некоторый момент сменить модель их описания на подходящую для моделирования пучков быстрых заряженных частиц. Такая замена приводит к возникновению численной неустойчивости, которую необходимо подавить для корректного расчета процесса захвата. Частицы для смены модели описания выбираются по критерию, основанному на внешних параметрах. В работе исследовался способ подавления неустойчивости и корректность критерия выбора частиц на спектре задач.

Полученные результаты:

В данной работе была предложена модель эффективного описания захвата плазменных электронов кильватерной волной, основанная на квазистатическом приближении. Для этого был разработан критерий, по которому плазменные частицы разделяются на захваченные и пролетные. Для захваченных частиц изменяется модель описания с плазменной на пучковую, подходящую для моделирования захваченного сгустка. При смене типа возникает неустойчивость, которую в модели, предложенной в данной работе, удалось побороть. Для корректной работы алгоритма требуется введение одного внешнего параметра. В данной работе был предложен алгоритм, позволяющий определить значение параметра, подходящее для выбранной задачи.

Предложенная модель была реализована в коде LCODE. Она показала устойчивую работу при различных параметрах взаимодействия, чем превзошла предложенные ранее модели захвата в квазистатическом приближении. Результаты расчетов совпали с моделированием из первых принципов с приемлемой точностью.

Предложенный подход унаследовал быстродействие квазистатического приближения. С использованием предложенной модели эффективность расчета захвата плазменных электронов повышается на несколько порядков, по сравнению с моделированием из первых принципов. Это позволяет проводить многопараметрическую оптимизацию схем кильватерного ускорения, в которых присутствует захват плазменных электронов.

Эффект от использования кластера в достижении целей работы:

Моделирование кодом FBPIC проводилось на вычислительном кластере информационно-вычислительного центра Новосибирского государственного университета.

Перечень публикаций:

ВКР бакалавра ФФ НГУ, Адаптация квазистатического кода для моделирования захвата плазменных электронов в кильватерном ускорителе, Лотов И.К.

Впечатления от работы комплекса:

Видеокарты прекрасно работают

Аннотация:

Плазменное кильватерное ускорение – это перспективный метод ускорения заряженных частиц. В плазменной волне возможно ускорять электроны до большой энергии при небольших размерах ускоряющей секции. Моделирование такой системы из первых принципов требует значительных вычислительных ресурсов, поэтому важно развивать эффективные подходы к моделированию кильватерного ускорения. В работе рассматривается один из таких подходов – квазистатическое приближение. В нем пренебрегают продольным смещением плазменных частиц при моделировании волны. Поэтому это приближение не описывает процесс формирования ускоряемого пучка из электронов плазмы, который важен для многих параметров взаимодействия.

Была предложена модификация квазистатического приближения, позволяющая рассчитывать захват плазменных электронов. Предложенная модель реализована в разрабатываемом программном комплексе LCODE. Она показала устойчивую работу при различных параметрах взаимодействия, чем превзошла предложенные ранее решения. Параметры захваченного сгустка в рамках предложенного подхода совпали с результатами моделирования из первых принципов. Для корректной работы алгоритма требуется введение одного внешнего параметра. Был предложен алгоритм, позволяющий определить значение параметра, подходящее для выбранной задачи.

Предложенный подход унаследовал быстродействие квазистатического приближения. С использованием предложенной модели эффективность расчета захвата плазменных электронов повышается на несколько порядков, по сравнению с моделированием из первых принципов. Это

позволяет проводить многопараметрическую оптимизацию схем кильватерного ускорения, в которых присутствует захват плазменных электронов.