

Отзыв

на автореферат диссертации Князева Р. Р. "Ускорение заряженных частиц кильватерными полями в плазменно-диэлектрических структурах", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы

В настоящее время в области новых методов ускорения заряженных частиц существенный интерес сосредоточен на эффективных способах создания высоких ускоряющих градиентов поля в структурах с диэлектрическим и плазменным заполнениями. Один из таких способов реализуется при использовании кильватерной схемы ускорения электронов. Кильватерное ускорение электронов подразумевает передачу энергии от ускоряющего сгустка к ускоряемому сгустку, которые движутся в поле возбуждаемых ими собственных волн (колебаний) электродинамической структуры. Передача энергии осуществляется посредством электромагнитного поля излучения Вавилова–Черенкова (кильватерного поля), генерируемого в структуре ускоряющим сгустком. Использование последовательности сгустков позволяет формировать кильватерное поле в результате интерференции волн, возбуждаемых каждым сгустком. Несомненно, изучение кильватерных полей, возбуждаемых модулированными электронными пучками, и их взаимодействие с электродинамическими структурами разного рода является актуальным, а исследования в этой области – необходимыми.

Диссертационная работа Р. Р. Князева посвящена возбуждению кильватерных полей в плазменно-диэлектрическом волноводе одиночным или последовательностью электронных сгустков и их применению для ускорения заряженных частиц (электронов) при реализации эффекта Вавилова–Черенкова. Использование экранированной цилиндрической гибридной структуры, объединяющей достоинства плазменной и диэлектрической структур, позволило обеспечить одновременно ускорение и фокусировку ускоряющего и ускоряемого сгустков, которые транспортируются в поле собственных симметричных волн структуры. Фокусировка обеспечивается полем ленгмюровской волны, локализованной в канале транспортировки, заполненном изотропной плазмой, а ускорение – полем медленных собственных симметричных волн радиально-двухслойного диэлектрического волновода, частоты которых выше ленгмюровской частоты. Поскольку эффект одновременной фокусировки и ускорения сгустков не зависит от знака заряда ускоряемых частиц, то он реализуется как при транспортировке электронных, так и позитронных сгустков. Исследуя в линейном приближении составляющие кильватерного поля, диссертант показал, что влияние квазистатического поля сгустков заряженных частиц с энергией более 15 МэВ на их динамику в плазменно-диэлектрических кильватерных ускорителях пренебрежимо мало. Несомненно, Р. Р. Князев внёс свой вклад в дальнейшее развитие линейной теории возбуждения кильватерных полей в плазменно-диэлектрических ускоряющих структурах, содержащих изотропную плазму. Кроме того, им предложена новая схема секционного ускорителя заряженных частиц, в котором плазменно-диэлектрические ускоряющие секции разделены вакуумными промежутками. В таком ускорителе плоскость фокусировки находится в вакуумном промежутке, т. е. вне плазменно-диэлектрических секций, что позволяет избежать перехода в нелинейный режим из-за чрезмерной фокусировки в плазме. На выходе второй плазменно-диэлектрической секции обеспечивается ламинарность движения сгустков.

Перечисленные выше результаты, а также ряд других, приведенных в автореферате, свидетельствуют о научной и практической значимости работы, которая вносит весомый вклад в решение проблемы создания кильватерных ускорителей заряженных частиц с высоким темпом ускорения (порядка 2,4 МэВ/см и выше). Особый интерес вызывает предложенная концепция секционного плазменно-диэлектрического кильватерного ускорителя заряженных частиц. Научные результаты диссертации не вызывают сомнений, так как они получены с использованием строгих методов математической физики и хорошо проверенных численных методов, а в пре-

дельных случаях совпадают с известными результатами.

Однако с возможностью однозначного восприятия полученных результатов, их воспроизведения и использования другими исследователями к автореферату диссертации возникают следующие замечания:

1. Автору следовало бы привести (выработать) рекомендации или алгоритм практического обеспечения синхронного изменения частоты собственной первой радиальной моды плазменно-диэлектрического волновода (т. е. изменения внутреннего (в соответствии условию $k_{pa} \sim 2$, что обеспечивает максимум плазменной волны) и внешнего (для достижения максимума кильватерного поля) радиусов диэлектрического волновода), ленгмюровской частоты (т. е. плотности плазмы) и частоты следования электронных сгустков, чтобы получить высокую эффективность кильватерного ускорителя.
2. Следовало бы привести условия компромисса между эффективным ускорением заряженных частиц при резонансном взаимодействии кильватерного поля плазменно-диэлектрической структуры и многобанчевого электронного пучка (условия которого приведены в замечании 1) и фокусировкой сгустков, для которой необходимо, чтобы частота собственной первой радиальной моды плазменно-диэлектрического волновода всегда была выше ленгмюровской частоты.
3. Из текста видно, что энергетические и геометрические параметры исследованных кильватерных ускорителей заряженных частиц соответствуют параметрам установки "Алмаз-2". Но ничего не сказано об экспериментальном подтверждении хотя бы одного полученного результата, например, особый интерес представляет фокусировка сгустков в канале с изотропной плазмой.
4. В тексте имеются неточности в оформлении. Например, приведена неполная (и даже встречается некорректная) расшифровка буквенных обозначений физических величин, отсутствует ссылка на рис. 5, в подписи к рис. 6 содержится "новое представление" значений эмиттансов.

Указанные замечания, однако, не снижают достоинств диссертации и имеют рекомендационный характер.

В целом, считаю, что диссертационная работа Князева Р. Р. "Ускорение заряженных частиц кильватерными полями в плазменно-диэлектрических структурах" является законченным научным трудом. Отображённые в ней научно обоснованные результаты о формировании кильватерных полей в рассмотренных электродинамических структурах и их использовании в процессах ускорения электронов являются значительными достижениями в развитии физики плазмы. Объединение достоинств изотропных цилиндрических плазменных и диэлектрических волноводов позволили автору выработать концепцию кильватерного ускорителя заряженных частиц без использования внешней магнитно-фокусирующей системы. Работа выполнена на высоком научном уровне и её автор, Князев Роман Романович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Доктор физ.-мат. наук, с. н. с.,
ведущий научный сотрудник отдела "Радиофизики твердого тела"
Института радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова
НАН Украины

Подпись Прокопенко Ю. В. удостоверяю.
Ученый секретарь ИРЭ им. А. Я. Усикова НАН Украины
канд. физ.-мат. наук



Ю. В. Прокопенко

И. Е. Почанина