

О Т З Ы В

**От Ерохина Николая Сергеевича, проф., зав.отделом, д.ф.-м.н.,
Институт космических исследований Российской академии наук,
Отдел "Космогеофизики"**

По процедуре защиты диссертационного труда по теме:

"Серфотронное ускорение релятивистских заряженных частиц электромагнитными волнами в космической плазме"

Претендент: гл.ас. Румен Шкевов, докторант в самостоятельной формы обучения для присуждения образовательной и научной степени "доктор"

В области высшего образования: 4. Природные науки, математика и информатика

Профессиональное направление: 4.1 Физические науки

Общее описание представленного материала. Диссертация объемом 154 стр., включающая: Введение (актуальность темы, цель и объект исследования), четыре главы основного материала, список результатов, выносимых на защиту и публикации автора по теме диссертации, 104 фигуры, 9 таблиц, библиография содержит 157 названий на английском, русском и немецком языках.

В первой главе диссертации подробно изложено современное состояние проблемы серфотронного ускорения заряженных частиц в космической плазме, дана историческая справка по этой теме исследований, приведен обзор имеющейся литературы. Главы 2, 3, 4 диссертации содержат вводную часть, постановку и теоретическое обоснование рассматриваемых задач, результаты численных расчетов серфотронного ускорения в космической плазме, а также выводы и заключение по результатам главы.

Во второй главе описаны результаты расчетов серфотронного ускорения заряженных частиц одной электромагнитной волной, распространяющейся перпендикулярно к внешнему магнитному полю в космической плазме, по разделам для случаев: 1) частота волны больше циклотронной частоты электронов плазмы; 2) частота волны меньше циклотронной частоты электронов плазмы. Определены диапазоны значений начальной фазы волны на траектории частицы, благоприятные для ее захвата волной в режим ультрарелятивистского ускорения; исследована временная динамика компонент импульса и скорости захваченной частицы, ее релятивистского фактора, благоприятный для реализации серфинга знак компоненты импульса частицы вдоль волнового фронта. Указано, что при сильном ускорении захваченной частицы поперечные к внешнему магнитному полю компоненты скорости частицы и темп роста ее релятивистского фактора выходят на постоянные асимптотики, что существенно упрощает оценки характеристик динамики ускоряемых частиц. В последнем подразделе второй главы исследовано влияние величины продольного импульса частицы на вероятность захвата с последующим сильным ускорением. Показано, что величина продольного импульса не влияет на резонансные процессы при серфотронном ускорении частиц в космической плазме.

В третьей главе проведен анализ серфотронного ускорения заряженных частиц при их взаимодействии с двумя электромагнитными волнами сравнимых амплитуд, распространяющихся перпендикулярно к внешнему магнитному полю в космической плазме. С учетом двух

интегралов движения исходных релятивистских уравнений дан вывод нелинейного уравнения для фазы первой волны, находящейся в черенковском резонансе с частицей. Численными расчетами показано, что имеется диапазон благоприятных для серфинга начальных фаз первой волны, для которого при благоприятном знаке компоненты импульса частицы и превышении амплитудой электрического поля волны порогового (для реализации серфинга) значения имеет место захват частицы первой волной (фазовая скорость второй волны заметно отличается от такой для первой волны) с последующим ультрарелятивистским ускорением. Определены асимптотики релятивистского фактора захваченной частицы, компоненты ее скоростей, показано, что в процессе сильного ускорения частицы оседают на дно эффективной потенциальной ямы. Расчеты также показали, что при достаточно малой разнице фазовых скоростей волн, амплитуды которых выше порогового для серфинга значения, стабильный захват заряженной частицы с сильным ускорением может отсутствовать. В заключении второй главы указано, что рассмотренный механизм ускорения заряженных частиц представляет интерес для проблемы генерации космических лучей (КЛ) и объяснения причин возникновения вариаций их потока, наблюдавшихся космической аппаратурой.

В главе 4 диссертации рассмотрено серфотронное ускорение заряженных частиц локализованным в пространстве (лоренцовская форма) пакетом электромагнитных волн, распространяющимся поперек внешнего магнитного поля. В центральной части пакета амплитуда электрического поля превышала пороговое для реализации серфинга значение и в ней был возможен захват частиц пакетом в режим сильного (при достаточно большой толщине этой области) серфотронного ускорения. Для фазы волнового пакета на несущей частоте получено нелинейное, дифференциальное уравнение второго порядка с учетом локализации пакета в пространстве. Наибольшее ускорение реализуется при захвате заряженной частицы на задней стороне пакета. Затем частица с фазовой скоростью пересекает пакет, движущийся с групповой скоростью (она значительно меньше фазовой скорости на несущей частоте) и попадая в область электрических полей, меньших порогового значения, становится незахваченной и ускорение прекращается. Далее происходит ларморовское вращение частицы. Расчетами определены благоприятные для реализации захвата начальные значения фазы пакета на несущей частоте, благоприятный знак компоненты импульса частицы вдоль волнового фронта. Расчеты показали, что для захваченной частицы фаза пакета на несущей частоте испытывает сравнительно малые вариации около значения, соответствующего дну эффективной потенциальной ямы, а когда частица на левой стороне пакета становится незахваченной фаза быстро возрастает со временем. Для захваченной частицы график ее смещения в направлении распространения пакета является практически прямой линией, а графики поперечных к внешнему магнитному полю компонент импульса и релятивистского фактора частицы соответствуют их увеличению практически с постоянным темпом роста. Согласно расчетам для слабoreлятивистских частиц вначале на относительно малых интервалах времени частица может совершать ларморовское вращение, затем происходит ее захват пакетом с последующим сильным ускорением. Расчеты также показали, что для незахваченной слабoreлятивистской частицы могут быть локальные доускорения с увеличением ее энергии на десятки и более процентов величины. Для захваченных пакетом частиц при сильном ускорении на фазовой плоскости траектории соответствуют (как и в случае взаимодействия заряда с монохроматической волной) движению изображающей точки к особой точке типа устойчивый фокус.

В заключении диссертации дана формулировка полученных результатов и следующие из них выводы по оптимальным условиям реализации серфотронного ускорения заряженных

частиц электромагнитными волнами в космической плазме с ростом энергии частиц на (4-6) и более порядков величины. Согласно имеющимся публикациям, серфотронное ускорение с генерацией космических лучей может быть, например, в ближайших к солнечной системе местных межзвездных облаках, где характерные длины ускорения могут достигать долей парсека и более.

1. Оценка результатов диссертации, выносимых на защиту. Изучены резонансные взаимодействия заряженных частиц с одной и двумя электромагнитными волнами, имеющих разные частоты, а также локализованным в пространстве пакетом электромагнитных волн с конечными амплитудами при их распространении в космической плазме. Я полагаю, что выносимые автором на защиту результаты численных расчетов серфотронного ускорения заряженных частиц, полученные при анализе нелинейного, дифференциального уравнения для фазы волны (или фазы волнового пакета на несущей частоте) на траектории частицы являются значительным вкладом автора в данное научное направление. Важно отметить, что решаемая задача является многопараметрической и требует весьма большого количества расчетов для определения основных закономерностей в динамике механизма серфотронного ускорения частиц электромагнитными волнами. Результаты диссертации, выносимые на защиту, изложены достаточно четко, что обеспечивает их правильное толкование и важность для проблемы генерации потоков ультрарелятивистских частиц в космической плазме, включая формирование наблюдаемых космической аппаратурой вариаций потоков КЛ.

2. Оценка публикаций автора и цитирований. Результаты, включенные автором в диссертацию были представлены на ряде конференций, некоторые из докладов были "приглашенными". Результаты диссертации опубликованы в рецензируемых журналах. Общее количество работ по диссертации составляет 15 работ, из них 2 статьи в журналах с импакт-фактором, а 5 опубликованы (полный текст) в сборниках конференций (один из докладов является приглашенным), остальные 8 (восемь) были представлены на конференциях и симпозиумах в качестве устных и стендовых, причем один доклад имеет статус "приглашенный". Необходимо отметить, что цитируемость ряда работ отмечена в системе SCOPUS.

3. Критические замечания и рекомендации. В этой части моего отзыва на диссертацию отмечу, что в тексте диссертации имеются некоторые технические погрешности. Однако они не меняют общей положительной оценки данной работы.

4. Личные впечатления о кандидате и другие данные, неуказанные в предыдущих пунктах. Я знаю Румена Шкевова порядка 10 лет. Мы вместе работали по совместным российско-болгарским проектам включая "Хаос" и "Серфотрон". Мои впечатления от этого сотрудничества вполне хорошие, при встречах в Софии и в Москве подробно обсуждали тематику совместных работ, выбор параметров для численного счета, журналы для публикации полученных результатов, участие в работе различных конференций с совместными докладами, направления дальнейшего развития совместных исследований по серфотронному ускорению заряженных частиц в приложении к космической плазме.

Заключение. С учетом того, что кандидат Румен Шкевов имеет достаточное количество научных и прикладных достижений, которые представлены научному сообществу в виде качественных публикаций в рецензируемых изданиях, докладов на научных конференциях и симпозиумах, а также его участие в исследовательских проектах, можно сделать следующее заключение: я даю положительную оценку материалов, с которыми кандидат Румен Шкевов

участвует в процедуре по защите диссертации на тему "Серфотронное ускорение релятивистских заряженных частиц электромагнитными волнами в космической плазме" для присуждения ему образовательной и научной степени "доктор" в области высшего образования п.4. Природные науки, математика и информатика, профессиональное направление п.4.1 Физические науки.

Рекомендую членам уважаемого Научного совета ИКИТ БАН и Научного жюри, назначенного приказом № 157/21.12.2016 директора ИКИТ-БАН, оценить положительно предложенный нам проект диссертации.

Научный консультант, профессор, доктор физико-математических наук
/ Ерохин Николай Сергеевич/

16 января 2017 г.

Подпись Н.С. Ерохина заверяю ученый секретарь ИКИ РАН
доктор физико-математических наук /п/ /А.В. Захаров/

ВЯРНО С ОРИГИНАЛА

