

TECHNION
ISRAEL INSTITUTE OF
TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF PHYSICS
HAIFA 32000, ISRAEL



ה ט כ נ י ו ן
מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה לפיסיקה
חיפה 32000, ישראל

TEL: 972-4-829-3559/3687 :70 e-mail: office@physics.technion.ac.il FAX: 972-4-822-1514 :079

ОТЗЫВ

кандидата физико-математических наук, профессора физического факультета Израильского Института Технологий Технион (Technion-Israel Institute of Technology) на автореферат диссертации Чайковского Станислава Анатольевича «Экспериментальные исследования формирования плотной излучающей плазмы в диодах наносекундных генераторов тока мегаамперного диапазона», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки

В нашей лаборатории плазмы (Физический факультет, Technion, Haifa, Israel) проводятся исследования электрического взрыва проводников и многопроволочных каскадов в воде. Это тесно касается физики плотной теплой плазмы (ФТПП) и физики высоких плотностей энергии (ФВПЭ). В течение последних лет мы опубликовали около 60 статей в этих областях физики в передовых научных журналах, таких как *Phys. Rev. Lett.*, *Physics of Plasmas*, *Applied Phys. Letters*, *Journal of Applied Physics*, *etc.* Поэтому, я уверен, что обладаю достаточной квалификацией, чтобы подготовить отзыв на автореферат диссертации Чайковского С.А., представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Предмет исследований Чайковского С.А. непосредственно связан с проблемами ФТПП и ФВПЭ, а именно, с генерацией горячей и плотной плазмы в конфигурациях Z-и X-пинчей, нелинейной диффузией магнитного поля в проводники и поверхностного взрыва в сверхсильных магнитных полях. Все эти исследования чрезвычайно важны с точки зрения фундаментальной науки (уравнения состояния, модели проводимости, нелинейное взаимодействие магнитного поля с проводниками, различные плазменные неустойчивости, перенос излучения, астрофизика), а также для различных практических приложений (инерциальный термоядерный синтез, свойства вещества при высокой плотности энергии, мощные источники излучения). Подобные исследования интенсивно ведутся в широко известных в мире лабораториях, таких как, например, Sandia National Laboratory, Livermore National Laboratory, Imperial College и во многих университетских лабораториях во всем мире.

Я с большим интересом прочитал автореферат Чайковского С.А., в частности, потому что внимательно слежу за работами Института сильноточной электроники СО РАН в этой области и знаю, что много новых идей, касающихся Z- и X-пинчей, нелинейного взаимодействия магнитного поля с веществом, были предложены и реализованы в этом Институте и, в частности, автором этой диссертации.

Среди наиболее важных результатов, полученных Чайковским С.А., хотелось бы отметить несколько достижений, которые с моей точки зрения наиболее важные и отличаются научной новизной. Во-первых, необходимо подчеркнуть результаты по изучению нелинейного проникновения магнитного поля в проводники и «магнитного взрыва» их поверхности. Проведенные эксперименты, являются по сути первыми, проведенными при экстремальной плотности тока в наносекундном масштабе времен. Предложенные оригинальные метод измерений проникновения магнитного поля в проводник и методика диагностики в вакуумно-ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах спектра позволили определять аномально высокую скорость диффузии магнитного поля в проводник и критическую плотность тока, необходимую для реализации «магнитного взрыва» поверхностных слоев проводника. Важно отметить, что полученные экспериментальные результаты сравнивались и анализировались с теоретическими моделями и результатами численных расчетов.

Другие важные результаты касаются эволюции плазмы, сформированной в результате электрического взрыва микропроводников в конфигурации X-пинча. Я хотел бы отметить, что в этой области проводятся многочисленные исследования, однако до сих пор отсутствуют четкие физические модели, объясняющие динамику X-пинча. Чайковский С.А. предложил и развил модель динамики X-пинча, в финальной стадии которой формируется горячая плотная плазма в форме перетяжки, интенсивно излучающая в мягком рентгеновском диапазоне. Наиболее существенным в данной модели является хорошее совпадение предсказываемых моделью размеров перетяжки с измеренными в экспериментах, проведенных Чайковским С.А. с коллегами.

Я считаю необходимым также отметить результаты моделирования и экспериментов по сжатию двух- и трехкаскадных Z-пинчей. Исследования Z-пинчей проводятся уже больше 50-ти лет с использованием различных импульсных генераторов тока и широкого набора диагностик. Однако, из-за различных плазменных неустойчивостей, плазма Z-пинча в финальной стадии сжатия далека от однородной и стабильной. Чайковский С.А. в своих исследованиях использовал двух- и трехкаскадные структуры плазменных лайнеров с различными массами и начальными диаметрами. Такой подход представляется весьма перспективным, поскольку дает возможность достигать более высокого сжатия и лучшей однородности плазмы в финальной стадии сжатия, когда достигаются наибольшие значения плотности и температуры плазмы.

Среди других результатов Чайковского С.А. я считаю необходимым выделить развитие различных малогабаритных импульсных генераторов тока, которые успешно используются для исследований X-пинчей и реализации источников мягкого рентгеновского излучения для зондирования с высоким пространственным и временным разрешением. Один из таких генераторов был применен для рентгеновского зондирования в экспериментах с многопроволочными лайнерами на генераторе Ангара-5-1. Еще одно важное достижение Чайковского С.А. заключается в реализации идеи трансформатора тока, который позволяет почти в два раза увеличить тока через нагрузку, при использовании того же первичного накопителя энергии на сильноточном генераторе МИГ.

На основе полученных результатов Чайковский С.А. опубликовал много научных работ в престижных научных журналах, где он является первым соавтором, а также представлял основные результаты исследований на нескольких международных конференциях.

При прочтении автореферата у меня возник ряд вопросов, которые возможно отражены в тексте диссертации, но, тем не менее, считаю необходимым их изложить. Первое, известно, что при электрическом взрыве проводников в вакууме на их поверхности формируется плазма, которая может переносить существенную часть тока. Как этот эффект учитывается при анализе результатов экспериментов? Второе, известно, что проводимость вещества зависит не только от температуры, но также от плотности и внутренней энергии вещества. Как это обстоятельство учитывается в моделировании процесса нелинейной диффузии? Третье, какие предположения и данные использовались при моделировании переноса излучения в плотной плазме?

Автореферат по форме и содержанию удовлетворяет требованиям ВАК для докторских диссертаций, а сам соискатель, без сомнений, заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Профессор физического факультета Израильского Института Технологий Технион (Technion-Israel Institute of Technology) кандидат физико-математических наук,

Красик Яков Евсеевич
32000 Хайфа. Израиль (32000 Haifa, Israel)
Тел: 04-8293559; Факс: 04-8226641
e-mail: fnkrasik@physics.technion.ac.il



/Я.Е. Красик/

Подпись Красика Я.Е. удостоверяю

Административный Декан Физического Факультета
Израильского Института Технологий
Технион
(Technion-Israel Institute of Technology)

подпись /Израэль Бен-Эфраим/



Israel Ben Efraim
Director of Administration
Physics Department
Technion
Haifa, Israel

Печать организации

TECHNION
Israel Institute of Technology
Department of Physics
Haifa, Israel