

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СТЕНОГРАММА**

заседания диссертационного совета Д 002.110.02  
на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2), утвержденного  
приказом Минобрнауки РФ №105/НК от 11.04.2012 г.

**Защита диссертации Фокина Владимира Борисовича  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
«Континуально-атомистическая модель и ее применение для численного  
расчета воздействия одиночного и двойного фемтосекундного лазерного  
импульса на металлы»**

Специальность 01.04.08 – Физика плазмы

Москва – 2017

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02  
на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2), утвержденного  
приказом Минобрнауки РФ №105/НК от 11.04.2012 г.

Председатель – Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02,  
**д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.**

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02 –  
**к.ф.-м.н., с.н.с. Васильев М.М.**

1	Фортов В.Е.	Академик РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
2	Канель Г.И.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
3	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
4	Васильев М.М.	К.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
9	Васильев М.Н.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
10	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
11	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
12	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
13	Гордон Е.Б.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
14	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
15	Дьячков Л.Г.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
16	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н.	01.04.14	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
18	Иванов М.Ф.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
19	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
20	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
21	Лагарьков А.Н.	Академик РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
22	Ломоносов И.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
23	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
24	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
25	Петров О.Ф.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
26	Полежаев Ю.В.	Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
27	Савватимский А.И.	Д.т.н.	01.04.14	Присутствует
28	Сон Э.Е.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
29	Старостин А.Н.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
30	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
31	Якубов И.Т.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует

## ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации младшего научного сотрудника лаборатории 1.2.2.4 – моделирования свойств материалов, НИЦ-1 ТЭС Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Фокина Владимира Борисовича на тему: «Континуально-атомистическая модель и ее применение для численного расчета воздействия одиночного и двойного фемтосекундного лазерного импульса на металлы». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 1.2.2.4 – моделирования свойств материалов, НИЦ-1 ТЭС Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, <http://jiht.ru>).

### **Научный руководитель:**

**Левашов Павел Ремирович** – к.ф.-м.н., заведующей лабораторией 1.2.2.4 – моделирования свойств материалов НИЦ-1 ТЭС Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

### **Официальные оппоненты:**

**Иногамов Наиль Алимович** – гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник сектора плазмы и лазеров Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук (Россия, 142432, Московская обл., г. Черноголовка, просп. Академика Семенова, д. 1-А, ФГБУН ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН);

**Красюк Игорь Корнелиевич** – гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, заведующий отделом взаимодействия когерентного излучения с веществом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (Россия, 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38, ФГБУН ИОФ им. А.М. Прохорова РАН).

### **Ведущая организация:**

**Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»** (Россия, 127055, г. Москва, ул. Сущевская, д. 22, ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»).

На заседании присутствуют:

официальный оппонент Фокина В.Б. – д.ф.-м.н. Красюк И.К.,  
научный руководитель Фокина В.Б. – к.ф.-м.н. Левашов П.Р.

### **Председатель**

Уважаемые члены диссертационного совета и все присутствующие, разрешите приступить к содержательной части нашего заседания. У нас сегодня повестка дня насыщенная, поэтому предлагаю работать четко и концентрированно, и начнем мы с того, что Михаил Михайлович огласит материалы по первой защите, и это – Фокин Владимир Борисович.

### **Ученый секретарь**

Уважаемые коллеги, добрый день. В наш совет поступило заявление от Фокина с просьбой принять к рассмотрению его диссертацию на тему: «Континуально-атомистическая модель и ее применение для численного расчета воздействия одиночного и двойного фемтосекундного лазерного импульса на металлы» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Была создана экспертная комиссия в нашем диссертационном совете в составе Грязнова Виктора Константиновича, Генри Эдгаровича Нормана и Дьячкова Льва Гавриловича, которые... в заключении указано, что работа может быть рассмотрена на нашем совете. В деле имеются все документы, оформленные в соответствии со всеми требованиями ВАК. С вашего позволения, все зачитывать не буду: если у вас есть вопросы, я готов на них ответить.

### **Председатель**

Если нет вопросов, то мы можем перейти непосредственно к ознакомлению с диссертационной работой. Владимир Борисович, пожалуйста, вам двадцать минут.

### **Фокин В.Б.**

*(Выступление не стенографируется. Доклад Фокина В.Б. прилагается.)*

### **Председатель**

Спасибо, Владимир Борисович. Время для вопросов: кто хотел бы что-нибудь уточнить? Да, пожалуйста, Игорь Львович.

### **Иосилевский И.Л.**

Володя, у меня два связанных вопроса по постановке задачи. Я понял, что у вас резко, то есть сильно неоднородная система с профилями всего, чего можно: температур, причем температуры разные – ионов и электронов, плотностей, давлений и всего прочего. Теперь вопрос такой: вот профиль температуры ионов и профиль температуры электронов у вас тождественно совпадают или отрываются друг от друга?

### **Фокин В.Б.**

Лазерная энергия поглощается преимущественно электронами, из-за этого электроны нагреваются очень сильно. Могут до ста килокельвинов нагреться. Конечно да, конечно электронная температура...

### **Иосилевский И.Л.**

Разные?

### **Фокин В.Б.**

Да, разные.

**Иосилевский И.Л.**

Разные. Теперь второй вопрос. И у вас, тем не менее, присутствуют двухфазные смеси «кристалл-жидкость», «газ-жидкость», правильно?

**Фокин В.Б.**

Да.

**Иосилевский И.Л.**

Можете ли вы тогда пояснить как-то поконкретней, что такое двухфазная смесь в системе с разными температурами электронов и ионов? Что это такое?

**Фокин В.Б.**

Двухфазная смесь. В гидродинамике это понятие существует. В гибридном моделировании это означает, что...  
Фаза определяется применяемым потенциалом.

**Иосилевский И.Л.**

Нет, а вы на картиночке... Можно увидеть, вот кто с кем в равновесии? Вот жидкая фаза, вот газовая фаза. При этом жидкая фаза при одной температуре, или что – или при другой температуре? Кто при какой температуре?

**Фокин В.Б.**

Не обязательно здесь термодинамическое равновесие.

**Иосилевский И.Л.**

Но вы же равновесие межфазное-то считали? Правда же? Холодное к кому-то приравнивали? Там, химпотенциалы приравнивали? Локальное давление или еще что-нибудь? Как фазовое равновесие сосчитать, с переменными температурами?

**Фокин В.Б.**

В гибридном моделировании фазовое состояние определяется используемым потенциалом.

**Председатель**

Так, ответ получен. Еще вопросы, пожалуйста.

**Ломоносов И.В.**

Вот когда вы перейдете к двумерному, по пространственным переменным, моделированию, у вас что изменится в постановке? Насколько у вас серьезнее будет физическое, как бы, наполнение модели, и, наверное, насколько лучше будут результаты, вы можете сказать? Насколько вообще следует переходить к двумерному моделированию?

**Фокин В.Б.**

В двумерной модели... Двумерное моделирование – оно довольно трудоемкое, для этого требуются вычислительные ресурсы.

**Ломоносов И.В.**

Ну, вот вы лучше, например, энерговыклад таким образом от излучения учтете?

**Председатель**

А двумерное вы имеете в виду какое?

**Ломоносов И.В.**

По пространственным переменным...

**Председатель**

Нет, я понимаю. В какой геометрии двумерное – плоской, цилиндрической? От этого существенно зависит ответ на ваш вопрос.

**Фокин В.Б.**

Можно будет учесть поперечные эффекты, выброс вещества из центральной части кратера.

**Ломоносов И.В.**

Боковую разгрузку, наверное, можно будет учесть?

**Фокин В.Б.**

Скорее всего – да, можно.

**Ломоносов И.В.**

Понятно, спасибо.

**Председатель**

Да, Владимир Сергеевич.

**Воробьев В.С.**

Каков основной элементарный процесс, ответственный за поглощение лазерного излучения в вашей задаче?

**Фокин В.Б.**

Лазерное излучение поглощается электронной подсистемой в течение нескольких...

**Воробьев В.С.**

Нет, а процесс элементарный – это что? Обратное тормозное, или...?

**Фокин В.Б.**

Излучение поглощается в зоне проводимости электронов.

**Воробьев В.С.**

Ну поглощение может происходить за счет переброса электрона из связанного состояния в континуум, свободный-свободный переход. У вас какой конкретно?

**Председатель**

Ну тут алюминий, поэтому свободных электронов хватает – три штуки с самого начала, так что это...

**Воробьев В.С.**

То есть это обратный тормозной эффект?

**Председатель**

Да.

**Воробьев В.С.**

А вот тот самый обычный механизм...

**Председатель**

Да. Поскольку электронов хватает с самого...

**Иосилевский И.Л.**

Электроны – это псевдожидкость некая. И, я понимаю, тут просто нет элементарных процессов, как таковых.

**Воробьев В.С.**

Как нет?

**Иосилевский И.Л.**

Ну нету – электронная жидкость, как в этом... в функционале плотности.

**Воробьев В.С.**

За счет торможения?...

**Председатель**

Да, да, да. Об ион, об решетку – как хотите, в зависимости от температуры. Еще вопросы, пожалуйста. Так. А, извините.

**Иосилевский И.Л.**

Если можно.

**Председатель**

Да, Игорь Львович, конечно.

**Иосилевский И.Л.**

Володь, у меня продолжение вот этого, первого, вопроса. Вот, очень коротко. У вас профили средней плотности ионов и электронов отрываются друг от друга или нет? Другими словами, есть ли у вас поляризация и сопутствующие средние электростатические поля? Или они тождественно равны нулю?

**Фокин В.Б.**

Нет, ну заряд... Электронная жидкость – это... Электроны моделируются электронной жидкостью и заряд... И поля этой электронной жидкости не моделируются.

**Иосилевский И.Л.**

Ну электроны не убегают?

**Фокин В.Б.**

Они двигаются...

**Иосилевский И.Л.**

Поля не возникают? Они же горячие – они, вы говорили... Вы «кэВ» сказали.

**Фокин В.Б.**

Движение электронов учитывается в уравнении сохранения энергии электронов, когда... Вот в этом вот уравнении учитывается движение электронов вместе с атомами, поскольку вещество рассматривается в пределе полной электронейтральности.

**Иосилевский И.Л.**

Да, правильно я понимаю, что у вас локальная электронейтральность?...

**Фокин В.Б.**

Локальная электронейтральность, да.

**Иосилевский И.Л.**

...тождественно везде, у каждого профиля не двигаются, правда?

**Фокин В.Б.**

Да.

**Иосилевский И.Л.**

Да, все, ответ получен.

**Дьячков Л.Г.**

У меня еще есть...

**Председатель**

Да, пожалуйста.

**Дьячков Л.Г.**

Вот можно показать слайд постановки задачи? Вот здесь у вас ширина вот этого параллелепипеда (расчетной области) – двадцать периодов. Вот этого – достаточно? А если достаточно, то вот чем это определяется, ну вот почему, собственно, этого достаточно?

**Фокин В.Б.**

Это определяется необходимыми вычислительными ресурсами. Конечно, если более строго говорить, то надо смотреть сходимость – когда при увеличении толщины поперечного сечения перестанет меняться глубина абляции.

**Дьячков Л.Г.**

То есть вот этого достаточно, чтобы глубина абляции уже не менялась, критерий в этом?

**Фокин В.Б.**

Большее поперечное сечение я брал, значение глубины абляции оставалось тем же самым.

**Председатель**

Так, спасибо. Если больше вопросов нет, тогда давайте предоставим слово руководителю. Павел Ремирович?



### **Левашов П.Р.**

Дорогие коллеги, Владимир Борисович работает у нас приблизительно с 2008 года. МФТИ он закончил в 2010, а аспирантуру в 2013 (аспирантуру ИВТана). Если говорить о его личных качествах, то, собственно, он – человек упорный, его упорство граничит с упрямством, но не переходит в это упрямство. Соответственно, это влияет на результаты, которые он получает – результаты получаются долго, но это на самом деле означает, что качество этих результатов – весьма высокое, и если смотреть на публикации, которые в диссертации сделаны, то они в довольно серьезных и авторитетных журналах, эти публикации. Ну по поводу его научного достижения в гибридной континуально-атомистической модели: я хотел бы сказать, что авторы первоначального варианта, Иванов и Жигилей, в 2003 году предложившие эту модель (мы их достаточно хорошо знаем), очень хотели эту модель распространить на импульсы более мощные. Их импульсы были слабые, приблизительно, около порога абляции, но вот за время, прошедшее с 2003 года, они так этого и не сделали. Владимир Борисович это смог сделать, написал очень сложную параллельную программу, и тем самым это достижение, в общем, вполне мирового уровня – я так считаю. Поэтому Владимир Борисович, на мой взгляд, сложившийся ученый, занимается актуальной для ОИВТ темой, и я хотел бы предложить поддержать его работу.

### **Председатель**

Спасибо, Павел Ремирович. Михаил Михайлович, наверное, мы должны ознакомиться с заключением оппонирующей организации.

### **Ученый секретарь**

Уважаемые коллеги, в деле присутствует отзыв ведущей организации. В качестве ведущей организации выступал Всероссийский научно-исследовательский институт автоматизации имени Духова. С вашего позволения полностью отзыв зачитывать не буду – он довольно объемный, я остановлюсь только на замечаниях, которые в этом отзыве указаны.

*(Зачитывает замечания, имеющиеся в положительном отзыве ведущей организации. Отзыв ведущей организации прилагается.)*

Отзыв подписан Жаховским Василием Викторовичем. И у нас есть отзывы на автореферат. Также у нас есть четыре отзыва на автореферат, все отзывы – положительные, но содержат замечания.

*(Зачитывает замечания, содержащиеся в поступивших отзывах на автореферат. Отзывы на автореферат прилагаются.)*

### **Председатель**

Владимир Борисович, если вы сможете, то, пожалуйста, объедините те вопросы, которые... те замечания, которые были в нескольких отзывах.

### **Фокин В.Б.**

Спасибо. При ответе на замечания я буду руководствоваться слайдами, которые заранее заготовил.

Замечание номер один. Я согласен с замечанием. Нужно было более подробно описать смысл входящие в уравнения величин. Однако, при оформлении диссертации я руководствовался тем, что в не стоит избыточно подробно излагать статью.

Замечание номер два: замечание по этой картинке. Я привел фазовую диаграмму алюминия в координатах «плотность–температура». Указанное замечание

относится вот к этой вот области, где наблюдается метастабильное плавление. Поэтому те параметры, которые я получил на вот этих вот профилях, они вполне соответствуют уравнению состояния.

Третье замечание. Здесь опечатка в тексте диссертации. «Размягчение» кристалла в гибридном моделировании учитывается, а что такое «размягчение» – объяснено в работе Канеля: это уменьшение предела текучести металла с ростом температуры. В опубликованной статье по материалам главы 2 этих опечаток нет.

Замечание номер четыре: здесь имеется в виду то, что в случае задержек 50 пикосекунд и более, отчетливо видно дополнительное плавление мишени на  $x-t$  диаграммах, в случае меньших задержек этот процесс, естественно, присутствует, но не так заметен визуально. Я привел картинки по этому замечанию: при уменьшении задержек присутствует дополнительное плавление мишени, и в случае маленьких задержек дополнительное плавление не так ярко выражено, практически вообще не заметно.

Теперь – замечания на автореферат.

Замечание профессора Ткаченко Светланы Ивановны. Поглощение на отдельных наночастицах в работе не учитывается. Однако, наночастицы окружены плазменным плюмом достаточно высокой плотности, и в основном поглощение происходит в этом плюме. При больших интенсивностях пренебрегать поглощением на наночастицах уже нельзя.

Замечание кандидата физико-математических наук Хохлова Виктора Александровича. С первым замечанием согласен, я ошибся в формулировках. Со вторым замечанием – могу сказать следующее: электронное давление превышает ионное в первые пикосекунды после прохождения лазерного импульса. Вот я привел иллюстрации к этому утверждению. Электронное давление на вот этом графике, а на этом графике – ионное. В первые пикосекунды после прохождения лазерного импульса электронное давление – сравнимо с ионным, а потом оно интенсивно уменьшается. В первые пикосекунды после прохождения лазерного импульса электронное давление превышает ионное, а затем быстро спадает, поэтому электронное давление не успевает оказать значительного влияния на эволюцию системы после прохождения лазерного импульса.

И ответы на замечания Шепелева Вадима Владимировича. Первое замечание: было интересно, спасибо, я учту в планах на будущее. Ну а насчет второго замечания (второе замечание – большое количество выводов) – возможно, надо было написать меньше их в заключении, но ограничений на количество положений я не нашел, поэтому я написал столько, сколько получилось. В заключении... сколько получилось положений, столько и получилось.

Ответ на замечания на автореферат – к.ф.-м.н. Якутова Б.П. из РФЯЦ – ВНИИЭФ

Первое замечание: имеется в виду, что по сравнению с гидродинамическим моделированием, которое длится несколько минут, гибридное моделирование занимает гораздо большее время, то есть от нескольких часов до нескольких суток, при этом требуется несколько десятков или сотен ядер вычислительного кластера, по сравнению с гидродинамическим моделированием, длительность гидродинамического моделирования составляет несколько минут. Второе замечание: температура электронов, ионов и некоторые другие термодинамические параметры приведены в диссертации. В автореферате они просто не приведены из-за объема автореферата. В третьем... По третьему замечанию можно сказать следующее: обе модели дают похожие результаты, но гибридное моделирование не требует введения дополнительных моделей нуклеации, разрушения, кинетических моделей.

### **Председатель**

Спасибо. Мы тогда должны заслушать, по-видимому, оппонентов, в данный момент, и у нас присутствует один. Игорь Корнелиевич, пожалуйста, вам слово.

### **Красюк И.К.**

Ну, я, прежде всего, хочу отметить, что была проведена очень большая работа, и ее, по моему мнению, можно разделить на две части: это – разработка модели и, второе, – ее применение для описания всяческих явлений. И, на мой взгляд, вот эти... каждая из этих частей достойна быть оценена как диссертационная работа...

### **Иосилевский И.Л.**

Может, две?

### **Красюк И.К.**

Да, там две... Но, надеюсь, что в будущем это будет хорошим, так сказать, фундаментом для дальнейшего роста нашего подзащитного. Ну я вот кратко пройду по тем пунктам, которые обязательны для официального оппонента. Прежде всего, актуальность – это не вызывает сомнения: фемтосекундные импульсы сейчас нашли широкое применение в различных областях. Я не буду называть, но вот абляция – это первый вопрос, который возникает, когда мы вообще лазером, лазерным импульсом действуем на вещество. И, безусловно, эта работа актуальна. Что касается новизны, то разработана, усовершенствована, я бы сказал, новая модель, по существу, которая, несмотря на свою сложность в смысле реализации на компьютерах, она позволяет выявить детали, которые в других моделях не выявляются, то есть это образование наночастиц, а это – процесс вообще говоря... Вот сейчас занимаюсь, большое внимание... Например, абляция золота в воду при фемтосекундном воздействии делается в лаборатории Аграната. Второе – то, что всегда возникает с... Одиночный импульс... Воздействие более-менее здесь может быть как-то понятно, а вот когда двойной импульс – это очень важно для технологии, то есть, мы хотим для прецизионной обработки материалов – это создание и кратеров, и отверстий тонких, возникает вот ... И фемтосекундные лазеры работают в частотном режиме, и поэтому выбор задержки между импульсами существенно влияет на технологию процесса. И здесь, вообще говоря, можно моделировать те или иные условия, или заранее предусмотреть, что получится, и выбрать те условия воздействия, которые нужны. Так, дальше... Здесь все содержание было очень хорошо рассказано. У меня, во всяком случае, есть два замечания, но они такого... носят рекомендательный характер. Первое – это вот где публикации, список, там как-то не ясно... В общем, разбросано, где работы, которые сделанные в соавторстве с диссертантом, и поэтому – либо жирным шрифтом выделить, либо отдельным списком, ну это вот... Ну а второе – видно, что на основе результатов численных расчетов, которые в диссертации получены, можно было бы построить зависимость давления в ударной волне от интенсивности лазерного излучения, диапазон – 0.9–180 тераватт на квадратный сантиметр. Это очень важно для экспериментаторов, потому что когда планируется эксперимент, то хотелось бы вообще в какую область мы попадаем, поэтому... А там все есть, так сказать. Ну еще я в отзыве не написал, но, в общем, еще и откольные явления, которые вот тоже в лаборатории Аграната исследуются, можно было бы... Тут отколы есть, можно было бы привести сравнение. Ну эти замечания, как я уже сказал, носят рекомендательный характер и не снижают высокую оценку диссертации. Ну с точки зрения достоверности, ну это... Все работы докладывались на конференциях, очень авторитетных, получали высокие оценки, ну и опубликованы в ведущих журналах,

поэтому... Здесь еще подтверждается сравнением с экспериментом и с другими моделями, так что здесь тоже достоверность не вызывает сомнений. А значимость результатов – она несомненная: как имеет и теоретический, и практический интерес, и могут быть использованы (эти результаты) при решении различных задач физики плазмы. Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации, диссертация отвечает этой специальности «Физика плазмы», безусловно, и здесь, в общем, заключение такое, что диссертация – она удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства, не только пункту 9, но и 9–12 – там их несколько, и все их надо выполнять. Ну и, безусловно, Владимир Борисович Фокин достоин, чтобы ему присудить ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

### **Председатель**

Спасибо, Игорь Корнелиевич. Мне кажется, все ясно, поэтому мы оппоненту вопросы задавать не будем, а попросим Владимира Борисовича ответить на те замечания, которые, в принципе, по-моему, очевидны, так что тут говорить много не нужно.

### **Фокин В.Б.**

По поводу первого замечания Игоря Корнелиевича: я согласен с замечанием. Второе замечание: я тоже согласен. Вообще, я понимаю, что это имеет смысл учесть в дальнейшей работе.

### **Председатель**

Ну да, тем более, что эти... Действительно, такая зависимость представляла бы несомненный, прямо практический интерес для экспериментаторов, поэтому, конечно, в дальнейшем надо как можно скорее такие данные сообщить. Спасибо. Значит, мы теперь должны заслушать отзыв второго оппонента, который отсутствует.

### **Ученый секретарь**

Коллеги, вторым официальным оппонентом Владимира Борисовича был Иногамов Наиль Алимович. К сожалению, он не смог сегодня присутствовать по уважительной причине, и в диссертационном деле об этом есть соответствующий документ. Я, с вашего позволения, целиком отзыв зачитывать не буду, потому что мы уже услышали и про актуальность, и про достоверность работы, здесь в отзыве также сформулирована структура диссертации, а перейду сразу к замечаниям по диссертационной работе, сформулированным в отзыве. Итак, ...

*(Зачитывает замечание, содержащееся в положительном отзыве официального оппонента Иногамова Н.А. на диссертационную работу. Отзыв прилагается.)*

Ну и дальше – комментарий, что в нашей организации имеется превосходная лазерная лаборатория Михаила Борисовича Аграната, там систематически проводятся лазерные эксперименты, и сравнение с этими экспериментами представлены в диссертации на рисунке 2.1, 2.3, 2.5, и так далее. Вот. Несмотря на сделанные комментарии, замечания, автор диссертации, Фокин Владимир Борисович, по мнению Иногамова, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы». Отзыв подписан, и подпись завизирована.

**Председатель**

Спасибо, Михаил Михайлович. Пожалуйста, Владимир Борисович.

**Фокин В.Б.**

Вот на этом слайде я привел рисунок из статьи Хашиды, Семерок, в которой на графике показана зависимость глубины абляции от падающего флюенса. Сравнение с этим экспериментом производится из-за того, что в одном эксперименте сложно зафиксировать (в одном эксперименте с одним выстрелом одиночного импульса сложно зафиксировать) глубину абляционного кратера. Согласен с тем, что эффект, указанный Наилем Алимовичем, имеет место, но, к сожалению, других экспериментов для сравнения нет.

**Председатель**

Все, спасибо. Ответ, по-моему, как говорится, очевидный – раз другого нет, то приходится жить с этим, хотя, конечно, наверное, следовало бы как-нибудь обсудить этот вопрос в диссертации, а не просто приводить результат как одиночного воздействия. Хорошо. Значит у нас время для дискуссии. Кто хотел бы высказаться, пожалуйста?

**Петров О.Ф.**

Можно я?

**Председатель**

Конечно, Олег Федорович.

**Петров О.Ф.**

Сегодняшний диссертант столкнулся несколько в таком, может быть, неожиданном, а может быть, как раз ожидаемом, когда он сдавал экзамен. Здесь были свои вот такие особенности, вот Александр Викторович по-моему тоже принимал участие...

**Еремин А.В.**

Было дело.

**Петров О.Ф.**

И, так сказать, могу сказать, что в конечном итоге диссертант вышел все-таки с достоинством из неких сложившихся сложностей, тем самым продемонстрировав способность к самообучению.

Все-таки представление того, что человек получает в аспирантуре, тем более в его будущей жизни, такая способность – она вообще является достаточно критической. Поэтому я бы, конечно, поддержал его в сегодняшнем мероприятии, ну и здесь все-таки пожелал бы, только, в дальнейшем: самообучение – оно иногда помогает еще не попасть во всякие трудные ситуации. Успехов!

**Ломоносов И.В.**

Уважаемые коллеги, позвольте мне сказать несколько слов по данной работе. Я достаточно внимательно ознакомился с содержанием работы, и хотел бы обратить ваше внимание на те обстоятельства, что в лаборатории Левашова вот мы сравнительно недавно выслушивали кандидатские работы, посвященные методу квантовой молекулярной динамики, первопринципным расчетам. Сейчас следующий цикл работ идет, связанных уже с численным моделированием и применением первопринципных подходов. Вот отголосок этого мы видим в континуальной модели, где рассмотрение проводится уже на атомарном уровне. Вот

мне, например, очень нравится этот момент, поскольку сравнительно недавно мы, конечно, имели дело исключительно с гидродинамическим моделированием, и здесь вот опять-таки отметили такой факт, что человек очень хорошо и много показывает  $x-t$ -диаграммы. Это «кухня» людей, которые занимаются газовой динамикой, и занимаются, вот, как бы, очень хорошо. И просто поверьте, показатель класса – когда вам показали  $x-t$ -диаграмму. Я полагаю, что результаты работы хорошие, достоверные, и качество данной диссертации сопоставимо с теми работами, прекрасными, которые ранее мы заслушивали в этой лаборатории Левашова. То, что здесь одномерное моделирование – это исключительно потому, что задача для современных методов, даже для параллельных как бы вещей, – она неподъемная, она очень тяжелая. Двумерное моделирование будет, но когда мы перейдем на следующие, еще более мощные машины. Но то, что сделано сейчас, мне представляется очень интересным и важным. Я предлагаю всем поддержать данную работу. Спасибо.

### **Председатель**

Спасибо. Спасибо большое. Еще есть желающие высказаться? Ну, давайте я тогда тоже два слова скажу. Поскольку наша лаборатория непосредственно участвовала в разработке гидродинамической части модели, как, может быть, вы заметили по публикациям приведенным, и нам, конечно, всегда не хватало вот этой ионной части, где мы могли бы рассматривать меньшие флюенсы, тогда происходят вот те явления, о которых сегодня говорилось. Ну, конечно, интересовались более интенсивными потоками, где не обращали на это внимание, но вообще пришла пора, конечно, разобраться и с этим диапазоном, тем более что он представляет максимальный интерес для практических приложений, которые сейчас активно развиваются. Поэтому мне представляется работа очень актуальной и квалифицированной. Если больше нет желающих выступить, то мы должны выбрать комиссию. Коротко говоря: Храпак, Грязнов, Дьячков. Если нет возражений, то прошу проголосовать за такой состав комиссии. Да, перед тем, как мы будем голосовать, предоставим возможность Владимиру Борисовичу сказать последнее слово.

### **Фокин В.Б.**

Я благодарен всем преподавателям, которые помогли мне получить высшее образование. Я благодарен официальным оппонентам, сотрудникам оппонирующей организации за то, что ознакомились с моей работой, вынесли положительное заключение. Я благодарен членам диссертационного совета за то, что приняли мою работу к защите. Я благодарен моему научному руководителю за то, что он уделил мне много времени во время моей подготовки диссертационной работы. Ну и, конечно, я благодарен членам коллектива нашей лаборатории моделирования свойств материалов за то, что они мне оказывали помощь как по формальным вопросам, так и по научной части. Всем спасибо большое.

### **Председатель**

Отлично. Мы можем перейти к самой волнующей части голосования, но прошу: давайте, пока будет комиссия работать, все, кто могут, посмотрите, пожалуйста, на заключение, потому что следующим пунктом мы должны будем его принять или что-то с ним сделать.

*(Голосование, подсчет голосов.)*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 20.12.2017 протокол № 19

О присуждении Фокину Владимиру Борисовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Континуально-атомистическая модель и ее применение для численного расчета воздействия одиночного и двойного фемтосекундного лазерного импульса на металлы» в виде рукописи по специальности 01.04.08 – физика плазмы, принята к защите 04.10.2017 г., протокол № 13, диссертационным советом Д 002.110.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр.2, iht.ru, (495) 485-83-45), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012 г. № 105/нк.

Соискатель Фокин Владимир Борисович 1987 года рождения, в 2010 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ).

В 2013 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ФГБУН ОИВТ РАН).

Диссертация выполнена в Лаборатории № 1.2.2.4 – моделирования свойств материалов НИЦ-1 ТЭС Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Работает младшим научным сотрудником Лаборатории № 1.2.2.4 – моделирования свойств материалов НИЦ-1 ТЭС Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Левашов Павел Ремирович, заведующий лабораторией № 1.2.2.4 – моделирования свойств материалов НИЦ-1 ТЭС Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

– гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук Иногамов Наиль Алимович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук (ФГБУН ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН), сектор плазмы и лазеров, ведущий научный сотрудник;

– гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук Красюк Игорь Корнелиевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (ФГБУН ИОФ им. А.М. Прохорова РАН), отдел взаимодействия когерентного излучения с веществом, заведующий отделом, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

(ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»), г. Москва, в своем положительном заключении, составленном ведущим научным сотрудником отдела компьютерного материаловедения ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», кандидатом физико-математических наук Жаховским Василием Викторовичем (отзыв обсужден на научном семинаре Отдела компьютерного материаловедения Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н.Л. Духова» Государственной корпорации «Росатом», что зафиксировано в протоколе № 7 от 10 октября 2017 г., и утвержден директором ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», доктором экономических наук Лопаревым Сергеем Юрьевичем), указала, что диссертация Фокина В.Б. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, и содержит новые важные результаты, которые могут применяться для решения различных теоретических и прикладных задач физики плазмы; результаты представляются достоверными и научно обоснованными, обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью. Работа Фокина В.Б. отвечает требованиям, предъявляемым пунктом 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней №842 от 24.09.2013 г.

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 6 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК Минобрнауки РФ:

1. Fokin V. B., Povarnitsyn M. E., Levashov P. R. *Simulation of ablation and plume dynamics under femtosecond double-pulse laser irradiation of aluminum: Comparison of atomistic and continual approaches* // Applied Surface Science. 2017. Vol. 396. P. 1802–1807.
2. Minakov D., Levashov P., Fokin V. *Vibrational spectrum and entropy in simulation of melting* // Computational Materials Science. 2017. Vol. 127. P. 42–47.
3. Povarnitsyn M. E., Fokin V. B., Levashov P. R. *Microscopic and macroscopic modeling of femtosecond laser ablation of metals* // Applied Surface Science. 2015. Vol. 357. P. 1150–1156.
4. Povarnitsyn M. E., Fokin V. B., Levashov P. R., Itina T. E. *Molecular dynamics simulation of subpicosecond double-pulse laser ablation of metals* // Physical Review B. 2015. Vol. 92. P. 174104.
5. Фокин В. Б., Поварницын М. Е., Левашов П. Р., Хищенко К. В. *Континуально-атомистическое моделирование лазерной абляции алюминия* // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2014. Т. 4, № 1. С. 60–65.
6. Фокин В. Б., Поварницын М. Е., Левашов П. Р. *Континуально-атомистическое моделирование абляции и образования наночастиц при воздействии фемтосекундного лазерного импульса на тонкие фольги* // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 22. С. 55–58.

На автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ) (профессор департамента молекулярной и биологической физики, доктор физико-математических наук Ткаченко Светлана Ивановна) – отзыв положительный, с замечанием: «С упомянутыми преимуществами метода молекулярной динамики связан недостаток использования континуальной модели, описывающей эволюцию электронной подсистемы: при сильной фрагментации мишени может оказаться, что вещество занимает не полностью всю ячейку вычислительной сетки, в этом случае расчет поглощения лазерного излучения согласно применяемой в работе модели



окажется неточным, поскольку неверным окажется предположение о том, что и вещество, и «электронная жидкость» заполняют ячейку равномерно. Такая сильная фрагментация получена, например, при моделировании взаимодействия алюминиевой мишени с двойным лазерным импульсом, результаты которого приведены на рис. 3 и 4 автореферата»;

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук (ФГБУН ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН) (научный сотрудник сектора плазмы и лазеров, кандидат физико-математических наук Хохлов Виктор Александрович) – отзыв положительный, с замечаниями:

«... можно отметить непонятные и неправильные утверждения, как, например, “из-за изотропии идеальный электронный газ может влиять на электронную подсистему”, “воздействие электронного давления более сильно выражено в случае более толстой пленки”. Кроме указанных выше замечаний, мое основное замечание к автореферату диссертации состоит в том, что непонятно, как учитывалось давление горячего электронного газа»;

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации проектирования Российской академии наук (ФГБУН ИАП РАН) (старший научный сотрудник отдела вычислительных методов и турбулентности, кандидат физико-математических наук Шепелев Вадим Владимирович) – отзыв положительный, с замечаниями:

«Интересно было бы в дальнейшем увидеть расширение представленной автором модели на многомерный случай, а также уточненный расчет траектории свободной границы. Из замеченных недостатков в оформлении я бы отметил большое количество положений (достаточно 2-3) в заключении и ошибки в нумерации списков в автореферате»;

4. Федеральное государственное унитарное предприятие «российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ») (Ведущий научный сотрудник Института лазерно-физических исследований ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», кандидат физико-математических наук Якутов Б.П.) – отзыв положительный, с замечаниями:

«Не расшифровано, что подразумевается под “значительными вычислительными ресурсами”, которые требуются для методики ГиКАМ. На защиту выносятся трёхкратное увеличение электронной температуры плюма, но нигде в автореферате не приводится ни температура ионов, ни электронов, а также давление плазмы во время воздействия. В работе подробно сравниваются модели ГиКАМ и ГДМ, но нет акцентированного вывода из этого сравнения.»

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

– д.ф.-м.н. Иногамов Н.А. является ведущим ученым в области моделирования взаимодействия лазерного излучения с конденсированным веществом, исследования свойств электронной подсистемы металлов, моделирования абляционного факела, возникающего в результате воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на металлы, проведения гидродинамических и молекулярно-динамических расчетов металлов, их неравновесных фазовых состояний и фазовых переходов, а также моделирования веществ при экстремальных условиях (при высоких температурах и давлениях, а также в сильных внешних полях);

1. N.A. Inogamov, V.V. Zhakhovsky. “Simulations of short pulse laser-matter interaction in case of tight focusing onto thin film”. Lobachevskii J. Math., 38(5), 914–920 (2017)

2. С.И. Анисимов, В.В. Жаховский, Н.А. Иногамов, С.А. Мурзов, В.А. Хохлов. «О формировании и кристаллизации жидкой струи, возникающей при воздействии на пленку острогофокусированным лазерным пучком». Квантовая электроника, 47(6), 509–521 (2017)

3. S.I. Ashitkov, V.V. Zhakhovsky, N.A. Inogamov, P.S. Komarov, M.B. Agranat, G.I. Kanel. “The behavior of iron under ultrafast shock loading driven by a femtosecond laser”. AIP Conf. Proc., 1793, 100035 (2017)

– д.ф.-м.н. Красюк И.К. является ведущим ученым в области экспериментального исследования веществ при экстремальных условиях (высоких температурах и давлениях), возникающих при воздействии мощного лазерного излучения (в том числе нано- и пикосекундных импульсов такого излучения) на мишень, а также экспериментального изучения процессов, сопутствующих лазерной абляции вещества.

1. I.K. Krasnyuk, P.P. Pashinin, A.Yu. Semenov, K.V. Khishchenko, V.E. Fortov. “Study of extreme states of matter at high energy densities and high strain rates with powerful lasers”. Laser Physics, 26(9), 094001 (2016)

2. I.K. Krasnyuk, A.Yu. Semenov, I.A. Stuchebryukhov, K.V. Khishchenko. “Experimental verification of the ablation pressure dependence upon the laser intensity at pulsed irradiation of metals”. Journal of Physics Conference Series, 774, 012110 (2016)

3. I.K. Krasnyuk, A.Yu. Semenov, I.A. Stuchebryukhov, R.S. Belikov, K.V. Khishchenko, O.N. Rosmej, T. Rienecker, A. Schoenlein, M. Tomut. “Investigation of the spall strength of graphite using nano- and picosecond laser pulses”. Journal of Physics Conference Series, 653, 012002 (2015)

Выбор Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова») в качестве ведущей организации обусловлен тем, что ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» является многопрофильной организацией, проводящей обширные исследования, в том числе в области гидродинамического и молекулярно-динамического моделирования быстропротекающих процессов как в плазме, так и в конденсированном веществе. В отделе компьютерного материаловедения ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» производится численное моделирование: воздействия пучков лазерного излучения на вещество, поведения вещества при ударно-волновых воздействиях, что близко к тематике диссертационного исследования соискателя.

1. Мигдал К.П., Покаташкин П.А., Янилкин А.В. «Исследование плавления  $\gamma$ -фазы урана методами квантовой и классической молекулярной динамики». Теплофизика высоких температур. Т. 55. № 5. С. 725–731 (2017)

2. Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V. “Numerical simulation of the effect of laser radiation on matter in an external magnetic field”. Journal of Physics: Conference Series. 830(1). P. 012124 (2017)

3. I. Kruglov, O. Sergeev, A. Yanilkin, A.R. Oganov. “Energy-free machine learning force field for aluminum”. Scientific reports. 7. P. 8512 (2017)

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана гибридная континуально-атомистическая модель для изучения воздействия на металлическую мишень фемтосекундных лазерных импульсов с энергией, многократно превышающей порог абляции.

Предложен метод расчета глубины абляционного кратера, являющегося результатом воздействия двух и более ультракоротких лазерных импульсов на металл, который учитывает зависимость оптических и транспортных свойств металла от его термодинамических параметров.

Доказана перспективность использования предложенного метода – гибридной континуально-атомистической модели – для изучения эволюции металла под воздействием ультракоротких лазерных импульсов на атомистическом уровне.

Новых понятий и терминов не вводилось.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован метод молекулярной динамики для ионной подсистемы в совокупности с решением уравнения энергии для электронной подсистемы как сплошной среды, при этом учитываются оптические и транспортные электронные свойства металла согласно широкодиапазонным моделям, являющимся аппроксимацией между конденсированным состоянием металла и плазмы.

Изложены аргументы, обосновывающие зависимость глубины абляции от интенсивности импульса (при одноимпульсном воздействии) и от временного промежутка между импульсами (при двухимпульсном воздействии).

Раскрыто влияние плазменного плюма, возникающего после воздействия первого лазерного импульса, на динамику абляции вторым лазерным импульсом при двухимпульсном воздействии в зависимости от временного промежутка между импульсами от 0 до 200 пс.

Изучены зависимости глубины абляции алюминия от интенсивности лазерного импульса в случае одноимпульсного воздействия и от временного промежутка между импульсами в случае двухимпульсного воздействия.

Проведена модернизация модели Иванова–Жигилея, впервые предложенной в 2003 г., с целью ее адаптации для расчета воздействия на металл фемтосекундного лазерного импульса с интенсивностью, во много раз превышающей порог абляции, и для расчета воздействия нескольких импульсов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработана и внедрена новая расчетная методика на основе гибридной континуально-атомистической модели (молекулярная динамика в совокупности с уравнением, описывающим электронную жидкость). Результаты работы могут применяться в следующих организациях: ИПХФ РАН, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ИСМАН, РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ-ВНИИТФ, ИАП РАН, ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова».

Определена электронная температура продуктов абляции первого лазерного импульса после воздействия на них второго лазерного импульса в зависимости от времени задержки между импульсами.

Создан параллельный алгоритм, посредством которого реализована гибридная континуально-атомистическая модель.

Представлено сравнение рассчитанных данных по глубине лазерной абляции алюминия с экспериментом, а также сами значения глубины абляции алюминия в зависимости от параметров лазерного импульса в виде графиков и таблиц.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Теория, использованная в диссертации, приводит к результатам, находящимся в согласии с экспериментальными и справочными данными по теме диссертации.

Идея базируется на методе молекулярной динамики для ионной подсистемы металла.

Использованы данные различных теорий, а также экспериментальные данные, полученные ранее по рассматриваемой тематике.

Установлено количественное совпадение с экспериментальными данными по глубине абляции и коэффициенту отражения алюминия в зависимости от

интенсивности лазерного импульса, а также термодинамических параметров алюминиевой мишени с данными ударно-волновых экспериментов для алюминия в пределах погрешности измерений.

Использованы суперкомпьютерные вычислительные комплексы (до 1000 процессорных ядер), современный вычислительный пакет молекулярно-динамического моделирования (LAMMPS), современные средства разработки и отладки программ, а также современные методики обработки и визуализации больших объемов информации.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении всех расчетов с применением гибридной континуально-атомистической модели и интерпретации полученных данных. На основании результатов исследования автором сформулированы и обоснованы выводы и заключения, вошедшие в диссертацию. Результаты работы докладывались автором на 16 международных и 5 российских конференциях.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 20.12.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Фокину Владимиру Борисовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 31 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 12 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 23, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02  
д.ф.-м.н., профессор

Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02  
к.ф.-м.н.

Васильев М.М.

20.12.2017 г.

