

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о выпускной научно-квалификационной работе

Рубцова Ивана Андреевича

«Восстановление динамики размеров наночастиц конденсированного углерода при детонации взрывчатых веществ методом малоуглового рентгеновского рассеяния»,  
направление 03.06.01 - Физика и астрономия  
направленность 1.3.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Рубцов Иван Андреевич работает в лаборатории физики взрыва ИГиЛ СО РАН с 2013 года, где успешно выполнил сначала бакалаврскую (2016 г.), а затем магистерскую (2018 г.) и диссертационную (2021 г.) работы. 15 декабря 2021 года на заседании Диссертационного совета 24.1.150.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук Иван Андреевич успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. С 2018 года он проходит обучение в аспирантуре ИГиЛ СО РАН. За время работы Рубцов И.А. показал себя настойчивым, трудолюбивым, целеустремленным и исполнительным сотрудником. С 2016 года он является преподавателем кафедры физики ФФ и СУНЦ НГУ, где преподает общий курс физики.

Выпускная научно-квалификационная работа Ивана Андреевича посвящена комплексному исследованию процессов детонации конденсированных энергетических материалов (ЭМ) с использованием синхротронного излучения (СИ) от ускорителей высоких энергий.

Повышенный интерес к исследованию детонации конденсированных ЭМ обусловлен рядом обстоятельств. Современные экспериментальные методы, обладающие наносекундным временным разрешением, позволяют исследовать структуру зоны реакции, что, казалось бы, должно было решить все проблемы теории детонации. Но, во-первых, эти методы, как правило, не являются прямыми и для восстановления параметров внутри ЭМ требуется решения обратной задачи, являющейся в общем случае некорректной. Во-вторых, к настоящему времени получены экспериментальные результаты, показывающие дополнительное выделение энергии за зоной химической реакции, и, в этой связи, любая независимая экспериментальная информация о параметрах течения в зоне реакции представляет большой интерес. Синтез алмазов изучаются более сорока лет, и, не смотря на практическое использование ультрадисперсного детонационного алмаза, до сих пор остается открытым вопрос о возникновении и росте зародышей конденсированной фазы углерода. Отсутствие экспериментальных данных связано с отсутствием методик, позволяющие регистрировать динамику превращения углерода в детонационных процессах. В связи с этим актуальным является разработка методов прямой регистрации динамики углерода в детонационной волне. В данной работе для этого впервые применяется метод малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) от ускорителя-накопителя ВЭПП-4М.

СИ позволяет регистрировать кино (через 5-100 нс) в рентгеновском диапазоне (в т.ч. дифракционное) с очень малыми экспозициями (10-100 пс). Развитие таких методик (дистанционных и не возмущающих) важно не только для исследования процессов детонации, но и в изучении поведения вещества в экстремальном состоянии.

За время работы в лаборатории Рубцов И.А. участвовал в постройке самой мощной станции «Экстремальное состояние вещества» на базе накопителя ВЭПП-4М. На станции впервые установлено уникальное оборудование (дифракционная взрывная камера, быстродействующий рентгеновский детектор DIMEX), настройка и работа с которым требует больших технических знаний, дисциплины и трудолюбия. Детектор DIMEX за один импульс СИ записывает угловое распределение МУРР. Анализируя изменение наклона распределений МУРР впервые было показано, что при детонации в зарядах ЭМ диаметром 20-40 мм рост конденсированного углерода продолжается в течении 4-6 мкс, то есть далеко за фронтом детонации. Кроме этого, им был разработан двухстадийный механизм конденсации углерода в продуктах взрыва. Именно этот факт является основным результатом диссертационной работы Рубцова И.А. Полученные результаты не только являются уникальными экспериментальными данными, но и заметно превосходят мировой уровень.

За время обучения он хорошо освоил специфику экспериментальных работ на ускорительном комплексе. Такая работа требует тщательной подготовки, большой выдержки и умения взаимодействовать с большим коллективом в круглосуточном режиме.

Важно, что Рубцов И.А. активно участвовал во всех этапах научной работы - от постановки задачи, подготовки и проведения экспериментов, обработки полученных данных, до интерпретации результатов и написания статей как на русском, так и на английском языках. Все поставленные задачи Иван Андреевич выполнил на отлично.

Использование дифракционных методик требует сильной математической подготовки и хорошее знание численных методов позволило ему восстановить динамику размеров углеродных структур при детонации больших зарядов (до 40 мм).

Его отличает упорство и тщательность в постановке и проведении экспериментов и расчетов, интерпретации результатов, хорошее знакомство с литературными данными, широкая эрудиция.

Рубцов И.А. проходил стажировки в Европейском центре синхротронного излучения (ESRF, Франция, Гренобль) и в Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт" на уникальной научной установке "Курчатовский центр синхротронного излучения КИСИ", благодаря чему приобрел опыт и знания, важность которых для него, как для самостоятельного исследователя сложно переоценить.

Результаты его работ опубликованы в высокорейтинговых международных журналах. Также им даны высокие оценки на конференциях.

В настоящее время Рубцов И.А. активно участвует в реализации проекта ЦКП «СКИФ», где занимается координацией разработки и создания Станции 1-3 «Быстропротекающие процессы», что очень важно для развития направления исследований с использованием синхротронного излучения в области быстропротекающих процессов.

По теме работы Иваном Андреевичем опубликовано 7 статей в рецензируемых изданиях. Важно подчеркнуть, что Иван Андреевич активно участвовал и продолжает

участвовать в ряде других научных проектов лаборатории, в частности, по исследованию быстропротекающих процессов с использованием синхротронного излучения (построение уравнений состояния продуктов взрыва ЭМ, изучение процессов ударно-волнового пыления и распространения ударных волн в энергетических и инертных материалах), режимов детонации ультрадисперсных взрывчатых веществ, сохраненного углеродного остатка продуктов взрыва и электропроводности продуктов взрыва, а также занимается моделированием исследуемых процессов. Этот опыт в значительной степени способствовал развитию его профессиональной интуиции и успешной работе над диссертацией. В настоящий момент в соавторстве с коллегами им опубликовано 24 статьи в рецензируемых изданиях, входящих в базу данных Scopus.

Иван Андреевич регулярно выступает на различных международных и всероссийских конференциях, включая такие престижные мероприятия как Международная конференция «Забабахинские научные чтения», Международная конференция «Харитоновские тематические научные чтения», Международная конференция «Уравнения состояния вещества» и Международный симпозиум по детонации. Хотелось бы также отметить способность Ивана Андреевича работать в коллективе, что есть необходимое качество современного исследователя. Считаю, что он, несомненно, достиг уровня, позволяющего вести самостоятельную научную деятельность.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что выпускная научно-квалификационная работа Рубцова Ивана Андреевича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к таким работам, и заслуживает высокой оценки, а ее автор имеет высокую профессиональную квалификацию.

Научный руководитель  
Кандидат физико-математических наук  
в.н.с. ИГиЛ СО РАН

Тен Константин Алексеевич / 

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева  
Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН)  
пр. Академика Лаврентьева, 15, Новосибирск  
630090, Россия  
Тел.: (383) 333-16-12  
Эл. почта: [ten@hydro.nsc.ru](mailto:ten@hydro.nsc.ru)



24 мая 2022 г.

Подпись Тена К. А. заверяю  
Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН  
к.ф.-м.н. Хе Александр Канчерович

25.05.2022 г.