

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу АСЕЕВА СЕРГЕЯ АНАТОЛЬЕВИЧА

«Лазерное детектирование атомно-молекулярных структур и процессов в нано-аттосекундном диапазоне»,

представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 - Оптика

В диссертации Асеева Сергея Анатольевича изложены результаты, в первую очередь, экспериментальных исследований, в которых ионизация лазерным полем используется для инициирования, либо изучения атомно-молекулярных процессов и процессов на поверхности твердого тела. Работа охватывает более чем 20-летний период и в ней отражен существенный прогресс, достигнутый лазерной техникой за это время – переход от использования наносекундных лазерных импульсов к фемтосекундным и даже аттосекундным масштабам. Следует отметить, что на постановку многих задач, решаемых в диссертации, безусловно оказала влияния яркая личность профессора Владилена Степановича Летохова – одного из учителей соискателя. В частности, это обуславливает оригинальность и нестандартность подходов к решению ряда задач. Некоторая часть материалов, изложенных в диссертационной работе, получена в зарубежных научных учреждениях.

Диссертация состоит из Введения, 5 глав и Заключения, при этом глава 1 не содержит оригинальных результатов, а представляет собой краткое введение в круг решаемых задач, снабженное литературным обзором.

Вторая глава диссертации посвящена разработке и практической реализации нового метода обнаружения малых и даже следовых примесей изотопов – коллинеарной резонансной многоступенчатой фотоионизации с использованием перестраиваемых по частоте наносекундных лазеров. При этом атомы в ридберговских состояниях создавались лазерным излучением, а ионизация происходила в постоянном электрическом или магнитном поле. По сути, материалы данной главы содержатся в кандидатской диссертации соискателя. Автором была создана сложная экспериментальная установка и проведен ряд экспериментов с ^3He и другими газами. При ионизации электрическим полем получена чувствительность по отношению $[\text{}^3\text{He}]/[\text{}^4\text{He}]$ лучше 10^{-7} . Вторая часть данной главы связана с ионизацией быстрых ридберговских атомов в постоянном магнитном поле, а также ионизацией отрицательных ионов. В последнем случае исследовались, в частности, двойные ридберговские состояния отрицательного иона гелия. Эти работы, выполненные в 90-х годах прошлого столетия, открыли новые перспективные методы исследования ридберговских атомов и ионов.

В третьей главе обсуждается ряд экспериментов, связанных с воздействием на молекулы и кластеры пикосекундных лазерных импульсов. Первая часть главы посвящена оптической молекулярной центрифуге – оригинальному методу селективного возбуждения молекулярных уровней с высокими вращательными числами с помощью лазерного излучения со специфическими характеристиками. При этом исследование формируемых состояний молекулы хлора проводилось при ее ионизации коротким лазерным импульсом. Вторая часть главы описывает эксперименты, связанные с ионизацией лазерным излучением кластеров ксенона. Основной задачей экспериментов было повышение выхода многократно заряженных ионов за счет оптимизации параметров лазерного излучения. К сожалению, оценка размера кластеров была сделана лишь на основе известной оценочной формулы Хагена. За счет применения методов оптимального управления формой лазерного импульса удалось повысить кратность ионизации с 11 до 23.

Четвертая глава диссертации – наиболее объемная. Речь в ней идет о формировании и детектировании импульсов электромагнитного излучения аттосекундной длительности, а также ультракоротких сгустков электронов и ионов. Следует отметить, что автор диссертации принял непосредственное участие в самом начале становления нового актуального и перспективного направления исследований – аттосекундной физики. Одной из основных сложных экспериментальных задач здесь является измерение (или оценка) длительности формируемого импульса, поскольку стандартные методы измерения (даже те, что используются для оптических импульсов длительностью в несколько оптических циклов) непригодны. В работах автора была предложена важная модификация метода измерения появляющихся при ионизации аргона аттосекундным импульсом в присутствии фемтосекундного лазерного поля фотоэлектронов, основанная на регистрации углового спектра фотоэлектронов, а не усредненного по углу сигнала. В настоящее время эта схема является наиболее часто используемой. К сожалению, в дальнейшем автор диссертации в работах по данному направлению не участвовал. В диссертации представлены результаты первых экспериментов и их обработки, позволившие не только оценить длительность аттосекундного импульса в 230 ас, но и проведено сравнительное исследование различных газовых мишеней для формирования аттосекундных импульсов электромагнитного поля.

Формирование пучков электронов с предельно малой длительностью также является весьма актуальной экспериментальной задачей. Автором предложена оригинальная схема, основанная на эмиссии фотоэлектронов из тонкой металлической пленки эванесцентной волной, формируемой в режиме полного внутреннего отражения от поверхности, на которую напылена пленка. Источником излучения здесь уже являлось фемтосекундное лазерное излучение. Хотя измерений длительности электронного сгустка (прямых или косвенных) в диссертации не приведено, было показано, что разброс

фотоэлектронов вблизи фотокатода весьма мал и соответствует фемтосекундной длительности электронного импульса.

Третья часть главы описывает оригинальный подход, развитый автором для одновременной пространственной и временной локализации электронного сгустка – использованием полого стеклянного капилляра. Оригинальна и схема дальнейших измерений, в которой производилось отклонение электронного пучка пондеромоторной силой короткого фемтосекундного импульса – своеобразная стрик-камера. Несмотря на крайнюю зашумленность электронного сигнала, автору удалось оценить длительность электронного импульса на выходе капилляра примерно в 7 пс. Вместе с тем, данный сигнал сложно назвать электронным импульсом, или импульсом тока, поскольку число регистрируемых электронов крайне мало.

Ионизационная микроскопия фокального объема мощного фемтосекундного лазерного импульса – предмет четвертой части четвертой главы. На основе изящной оригинальной схемы электронного микроскопа с радиальным ускоряющим и изображающим полем, автору удалось напрямую визуализировать область, в которую фокусируется мощный фемтосекундный лазерный импульс. Эта задача, казалось бы не дающая новых фундаментальных знаний, имеет очень важный практический интерес при исследовании самых разных проблем, где идет речь о фокусировке мощного лазерного излучения.

Заключительная, пятая часть четвертой главы связана с формированием коротких фотоионных сгустков. На примере проводящего органического полимера впервые экспериментально продемонстрирована возможность десорбции сложных молекулярных комплексов мягким рентгеновским излучением, полученным при острой фокусировке на твердотельную мишень фемтосекундного лазерного импульса. Это открывает новые уникальные возможности при изучении сложных молекулярных комплексов, адсорбированных на поверхности, с высоким пространственным разрешением и большой химической селективностью.

Пятая глава диссертационной работы связана с задачами фотоэлектронной микроскопии, в которой источником электронов для исследования вещества является катод, облучаемый фемтосекундными лазерными импульсами. В первую очередь речь здесь идет о возможности реализации стандартных методов электронной микроскопии с высоким временным разрешением. В первой части главы обсуждаются оригинальные эксперименты, в которых реализован новый вариант зондовой микроскопии с использованием в качестве зонда и источника электронов полого капилляра с диаметром выходной апертуры 100 нм. Это позволило достичь пространственного разрешения в единицы нанометров. При этом исследуемый объект размещается на кончике капилляра, по которому изнутри поступают фотоэлектроны. Радиальное электрическое поле снова обеспечивает получение электронных изображений с большим увеличением (свыше 10^5).

Возможности нового метода продемонстрированы на органических наноструктурах – молекулах красителя Кумарин-153.

Во второй части той же главы разработанная методика использована для анализа редокс-гетерогенных структур, формируемых проводящим полимером полианином. Авторам удалось показать, что редокс-гетерогенные структуры (чередования зон полимера с разной степенью окисленности и проводимости) возникают на наномасштабах, а не только на микроуровне.

Заключительная часть пятой главы посвящена первым тестовым экспериментам по использованию стандартного электронного микроскопа для реализации измерений с высоким (пико- и даже фемтосекундным) разрешением. С этой целью осуществлена доработка микроскопа и установка в него катода, облучаемого фемтосекундными лазерными импульсами. Проведенные тестовые эксперименты показали, что получаемые изображения и дифракционные картины похожи при использовании стандартного теплового и фемтосекундного фото- катодов. Хотя переход к решению реальных задач еще потребует большого объема работы и тестирований, уже приведенные в диссертации результаты свидетельствуют о перспективности развиваемого подхода.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

Таким образом, в рассматриваемой работе решен ряд важных научных задач в рамках развития нового направления исследований, связанных с фотоионизацией атомов, молекул, кластеров и твердых тел мощным лазерным излучением и применением получаемых пучков электронов, ионов и сгустков электромагнитного излучения для диагностики вещества с предельным временным и пространственным разрешениями.

Несмотря на общую высокую оценку диссертационной работы С.А.Асеева необходимо сделать ряд замечаний.

1. При анализе данных в большинстве примененных автором схемах не проведен учет неоднородности распределения интенсивности лазерного поля в области взаимодействия. В частности, это может оказаться существенным при анализе данных по угловому спектру фотоэлектронов (раздел 4.1), поскольку приведенные формулы верны для одиночного атома (фотоэлектрона) при фотоионизации аттосекундным импульсом, а не для ансамбля атомов. В разделе 4.3 при визуализации области фокальной перетяжки не учтено усреднение по поперечным координатам, и т.д.
2. На стр.200 автор упоминает о роли соотношения неопределенности при анализе длительности электронного сгустка. Очевидно, однако, что это соотношение играет роль для электромагнитного излучения и его влияние пренебрежимо мало для электронных сгустков даже фемтосекундной (и аттосекундной) длительности.

3. Обсуждение автором результатов экспериментов зачастую носит весьма общий характер – не указываются такие ключевые параметры, как число электронов в одном импульсе, ширина спектра фотоэлектронов, и т.д. В тех ситуациях, когда напрашивается выполнение оценок, подтверждающих определенные высказанные утверждения, автор ограничивается общими словами об отсутствии влияния, например, кулоновского расталкивания на исследуемые эффекты. Приведенные экспериментальные схемы также не дают возможности оценить некоторые существенные нюансы. Так, на схеме рис.45 не приведен способ питания МКП, от которого существенно зависит спектр регистрируемых электронов.
4. Диссертационная работа содержит описание целого ряда оригинальных и приоритетных результатов, однако сам текст работы далек от идеального. В целом стиль написания работы зачастую напоминает учебник – автор подробно обсуждает хорошо известные факты и эффекты, приводит массу примечаний, в которых также излагает известный «азбучный» материал. Первая, вводная глава диссертации представляет собой набор отдельных, зачастую плохо связанных частей. Вместе с тем, эта глава вряд ли может считаться полноценным литературным обзором по проблематике диссертации – несмотря на большое число ссылок, они зачастую приводятся большими пачками (см., например, стр. 52) без обсуждения деталей. Кроме того, при чтении 2-5 глав не указаны в явном виде работы автора, на которое опирается изложение.
5. Эксперименты, описанные в работе, захватывают довольно длительный период времени, поэтому представлялось бы целесообразным осветить, как работы автора повлияли на дальнейшее развитие, используются ли эти результаты сейчас, актуальны ли? По целому ряду задач такого обсуждения в работе нет. Сюда же относится вопрос о личном вкладе автора в работы, выполненные зарубежом. К сожалению, в диссертации раздел «личный вклад» не приведен, а в автореферате он занимает полторы строчки и носит формальный характер.
6. Имеются нарекания и к оформлению работы – есть много опечаток, странная терминология (пондеоторный?, титанат сапфира!! и т.п.). Многие рисунки имеют подписи по осям только на английском языке.

Приведенные выше замечания никак не снижают общую высокую оценку работы, содержащей целый ряд оригинальных, актуальных и приоритетных результатов. Высокий научный уровень работы, достоверность полученных данных и высокая квалификация С.А.Асеева безусловно подтверждается публикациями в престижных реферируемых научных журналах, докладами на конференциях. Защищаемые положения и выводы, сформулированные автором, хотя и могут быть подвергнуты критике в смысле отточенности формулировок, полностью соответствуют полученным результатам. Практическая значимость работы определяется набором новых методов исследования

атомов, молекул, кластеров и наноструктур, разработанных в диссертации. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных институтах (ИС РАН, ИОФ РАН, ИХФ РАН, ФИАН, ИПФ РАН, ИЛФ СО РАН, КИАЭ и др.) и ведущих университетах – МГУ, СПбГУ, МФТИ.

Публикации автора соответствуют содержанию и выводам диссертации, а содержание автореферата полностью отражает сущность работы. Диссертация Асеева Сергея Анатольевича удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением № 842 Правительства РФ от 24.09.2013 года, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Асеев С.А., заслуживает присвоение учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

профессор, доктор физико-математических наук
физический факультет
МГУ имени М.В.Ломоносова

А.Б. Савельев-Трофимов

Почтовый адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

Телефон: +79161845084

Электронная почта: abst@physics.msu.ru

Декан физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова
профессор



Н.Н. Сысоев

«29» 09 2015 г.