

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Копцова Дмитрия Владимировича «Шумы в интерферометрических гравитационно-волновых детекторах, связанные с поглощающим покрытием пробных масс и электрическими зарядами на их поверхности», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Актуальность темы диссертационной работы Д.В. Копцова, посвященной исследованию отдельных видов шумов в интерферометрических гравитационно-волновых детекторах, не вызывает сомнений. С момента первой прямой регистрации гравитационных волн от слияния черных дыр детекторами Международной коллаборации LIGO прошло чуть более двух лет. С тех пор детекторы LIGO-Virgo зарегистрировали пять событий. Гравитационно-волновая астрономия как новый уникальный канал информации о Вселенной становится реальностью.

Д.В. Копцов выполнял свои исследования в научной группе физического факультета МГУ, созданной чл.-корр. РАН В.Б. Брагинским. Группа участвует в коллаборации LIGO с момента ее создания. Первый вид шумов, который исследовал Д.В. Копцов, связан с электростатическими зарядами, находящимися на пробных массах-зеркалах гравитационно-волнового интерферометра. Под воздействием электрического поля электростатического актюатора пространственное распределение зарядов изменяется со временем, что приводит к изменению силы, действующей на пробную массу. Вариации силы не велики, но, учитывая уникальную чувствительность детекторов LIGO, они являются фактором, который может привести к ее снижению. Диссертант создал экспериментальную установку, на которой провел исследование этих шумов на лабораторной модели, а затем использовал их для оценки шумов в детекторе Advanced LIGO. Ключевым элементом установки является высокочастотный монолитный крутильный осциллятор, изготовленный полностью из плавленого кварца. Использование оригинального интерферометрического оптического датчика смещений пластины маятника позволило достигнуть высокой чувствительности по измеряемому моменту сил, действующих на пластину, которая ограничивалась в основном сейсмическими шумами. Тем не менее, диссертанту удалось найти окно с минимальным уровнем в спектре шума на частотах вблизи 18 Гц. Важно, что эти частоты близки к нижней границе рабочего диапазона детектора Advanced LIGO.

Следует отметить высокий уровень автоматизации экспериментальной установки и системы обработки экспериментальных данных, что свидетельствует о высокой

квалификации диссертанта и в этом вопросе. Используя результаты своего исследования флуктуаций силы взаимодействия пластины из плавленного кварца с электрическим полем актюатора и моделирования этого взаимодействия, автор получил значение верхней границы амплитудной спектральной плотности шума относительного смещения пробной массы в гравитационно-волновом детекторе Advanced LIGO, обусловленного воздействием актюатора на частотах вблизи 18 Гц. Исследование зарядового шума диэлектрических пробных масс детекторов Advanced LIGO важно, поскольку в ближайшее время планируется улучшить их чувствительность и достигнуть ее проектного уровня.

Вторая часть исследования, проведенного Д.В. Копцовым, связана с гравитационно-волновыми детекторами следующего третьего поколения, которые придут на смену детекторам Advanced LIGO. Предполагается, что пробные массы новых детекторов будут изготавливаться из кремния и охлаждаться до температуры 123 К. Учитывая, что мощность лазерного излучения в плечах интерферометра будет превышать 1 МВт, проблема отвода тепла от пробной массы встает в полный рост. Для решения этой задачи предполагается покрывать боковую поверхность пробной массы специальным покрытием с высокой эмиссионной способностью. Автором были исследованы механические потери в новом покрытии Asctar Black, определено влияние этих потерь на тепловой шум смещения зеркал интерферометра и показано, что наличие такого покрытия приведет к небольшому (менее 10%) снижению чувствительности детектора.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. Чувствительным элементом экспериментальной установки является монолитный крутильный механический осциллятор, изготовленный полностью из плавленного кварца. Он имеет довольно высокую добротность $Q \approx 10^6$, однако автор не обсуждает, зачем нужна такая большая добротность. Важно иметь оценку предельной чувствительности измерительной установки, т. е. величину минимального момента сил, действующего на такой осциллятор, который может быть измерен, если ограничительным фактором является его тепловой шум.
2. Электростатический актюатор может быть источником дополнительного шума и без приложения к его электродам электрического напряжения благодаря силам изображения, создаваемым зарядами, находящимися на пробной массе. Было бы полезно и интересно оценить величину этого шума.
3. Две верхних кривых на рисунке 4.10 демонстрируют увеличение шума смещения пробной массы за счет добавления бокового покрытия пробной массы. Эта важная,

с точки зрения выводов диссертации, информация не отражена ни в подписи к рисунку, ни в тексте диссертации.

Указанные замечания не затрагивают основных выводов и положений диссертации и в незначительной степени сказываются на качестве диссертационной работы.

Диссертационная работа Д.В. Копцова является полноценным законченным исследовательским трудом, выполненным автором на высоком научном уровне. Основные результаты были апробированы на всероссийских и международных конференциях, опубликованы в ведущих научных журналах, индексируемых Web of Science. Полученные результаты обладают новизной и достоверностью, выводы обоснованы. Автором проведён широкий ряд экспериментальных исследований, в ходе которых решены поставленные задачи, проведена грамотная обработка результатов измерений и представлены чёткие выводы.

Диссертационная работа «Шумы в интерферометрических гравитационно-волновых детекторах, связанные с поглощающим покрытием пробных масс и электрическими зарядами на их поверхности» соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, а её автор – Копцов Дмитрий Владимирович – заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

Руденко Валентин Николаевич

доктор физ.-мат. наук, профессор

Заведующий отделом гравитационных измерений, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга.

Адрес: 119234, г. Москва, Университетский проспект. д. 13

тел.:

e-mail: rudenko@sai.msu.ru

20 ноября 2017 г.

Подпись В.Н. Руденко заверяю: