

**Отзыв официального оппонента**  
**о диссертационной работе Лапина Николая Ивановича «Применение метода неприводимых тензоров в задачах динамики твердого тела в неоднородных силовых полях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 — теоретическая механика.**

В диссертации Н. И. Лапина на основании выполненных автором исследований сформулированы и обоснованы научные положения, совокупность которых можно квалифицировать как вклад в развитие важного направления в теоретической механике: разработку общих методов описания и исследования взаимодействия твердого тела с неоднородными силовыми полями.

Диссертация представляет собой научную работу, обладающую внутренним единством и свидетельствующую о личном вкладе автора в исследования, позволяющие получить следующие результаты:

- Получить формулы преобразований (теорему сложения) для тензорных решений уравнения Гельмгольца. Это позволило, в частности, получить формулы преобразования для скалярных и векторных решений уравнения Гельмгольца.
- На основе теоремы сложения, получить инвариантные разложения силовой функции взаимодействия объемных зарядовых и токовых распределений.
- Записать инвариантные представления силы и момента силы попарного электромагнитного взаимодействия двух объемных зарядовых распределений.
- Представить силовую функцию взаимодействия диамагнитного ротора с магнитным полем.
- Найти силу, действующую со стороны подвеса на диамагнитный ротор, по форме близкий к сфере.
- Для однородного диамагнитного ротора, по форме близкого к сфере, в поле кругового тока определить область устойчивости.

Тема диссертации Н.И. Лапина безусловно актуальна, поскольку задачи исследования динамики твердого тела, обладающего произвольными массово-геометрическими характеристиками, в силовых полях различной физической природы, относятся к числу важнейших как в теоретическом, так и в практическом плане. Левитация предметов в магнитном поле важна для множества практических приложений. Она открывает новые возможности для управления биологическими объектами, для сепарации нанотрубок, полимеров, обладающих различной плотностью, выращивания белковых кристаллов, для синтеза новых материалов и многое другое. Можно сказать, что все вещества в природе диамагнетики; как исключение из правила встречается парамагнетики, и совсем уж редко - ферромагнетики. Для осуществления устойчивой левитации диамагнитных тел нужно очень сильное магнитное поле и очень большой его градиент, который в первую очередь зависит от конфигурации поля. Преимущество диамагнитной левитации в том, что могут быть построены магнитные поля, позволяющие

скомпенсировать гравитационные силы, фактически, на уровне отдельных атомов и молекул однородного материала. Это делает возможным моделировать состояние невесомости в очень хорошем приближении прямо на Земле. При этом в теоретическом плане возникает ряд задач динамики твердого тела в силовых полях, которые требуют решения, например: расчет моментов, действующих на вращающийся диамагнитный ротор, определение максимальной области устойчивости вывешиваемого тела, расчет параметров тела и подвеса, обеспечивающих максимальную перегрузочную способность, анализ условий создания микрогравитации, исследование эволюционных уравнений. Теоретическое исследование динамики диамагнитных тел в поле подвеса ранее почти не проводилось, а если и проводилось, то на уровне простых моделей, основанных на квазиоднородном приближении, что не позволяет учесть влияние формы вывешиваемого тела на характер его движения.

Новизна результатов автора, в частности, определяется предлагаемыми новыми методами решения «задач дальнодействия». Вот некоторые результаты, полученные автором: 1. Продемонстрирована эффективность использования математического аппарата неприводимых тензоров при описании и исследовании сложных взаимодействий твердого тела с силовыми полями различной природы. 2. Представлено и проанализировано инвариантное разложение силовой функции взаимодействия пространственных зарядовых и токовых произвольных распределений. 3. Разработан алгоритм расчета силовой функции неконтактного подвеса диамагнитного ротора произвольной формы. 4. Найдены условия консервативной устойчивости и определена область устойчивости диамагнитного симметричного эллипсоида в поле кругового тока. 5. Даны примеры использования метода неприводимых тензоров для построения эволюционных уравнений движения твердого тела и их осреднения.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений соискателя, сформулированных в диссертации, подтверждается тем, что текст работы содержит достаточно полное описание проведенных исследований, вывод формул и обоснование расчетных алгоритмов. Кроме того, выводы диссертационной работы согласуются с известными результатами авторитетных исследователей, полученными ранее в частных случаях.

Значимость выводов и рекомендаций диссертанта для теории и практики, прежде всего, состоит в том, что метод неприводимых тензоров, развиваемый в диссертации, может быть применен к широкому кругу задач динамики сложных механических и электромеханических систем.

Результаты автора могут быть непосредственно использованы в Институтах РАН, ведущих университетах и как теоретическая база для создания алгоритмов решения новых нелинейных задач движения твердого тела в сложно устроенных силовых полях .

Диссертация включает в себя введение, три основных раздела, заключение и приложение. Объем работы – 94 страницы.

Автореферат (согласованный с текстом введения) в целом отражает содержание диссертации.

Первая глава «Мультипольное разложение» посвящена формулировке и доказательству теоремы сложения тензорных решений уравнения Гельмгольца. Из данной теоремы в частном случае получаются теоремы сложения как для скалярных, так и для векторных решений уравнения Гельмгольца.

Во второй главе диссертации «Инвариантные представления физических взаимодействий» строятся инвариантные разложения силовых функций электромагнитного взаимодействия пространственных зарядовых и токовых распределений. Исследуются свойства силовой функции, зависящие как от симметрии тела, так и от симметрии структуры силового поля. Строятся инвариантные представления силы и момента сил в форме произведения неприводимых тензоров.

Третья глава «Потенциальная энергия и силовые характеристики квазисферического диамагнитного ротора в произвольном магнитном поле» в некотором смысле центральный раздел работы. Глава посвящена представлению методики расчета силовых характеристик подвеса диамагнитного ротора произвольной формы в магнитном поле. В этом разделе на основе аппарата неприводимых тензоров получено аналитическое представление потенциальной энергии взаимодействия вывешиваемого тела произвольной формы. Получены аналитические зависимости сил и моментов сил, обеспечивающие левитацию диамагнитного тела в магнитном поле подвеса. Найдены необходимые и достаточные условия консервативной устойчивости состояния равновесия, и определена область устойчивости для диамагнитного ротора по форме близкого к сфере. Численным расчетом определена область устойчивого вывешивания диамагнитного ротора по форме близкого к сфере в подвесе, образованном круговым током. Рассмотрены условия, вызывающие нарушение устойчивого состояния равновесия при взаимодействии ротора с полем и динамика перехода из одного состояния равновесия в другое. Рассмотрено влияние различных гармоник силовой функции на характер эволюционных движений твердого тела.

Автореферат (согласованный с текстом введения) в целом отражает содержание диссертации.

В приложении кратко изложены основные сведения о математическом аппарате неприводимых тензоров.

Основные результаты диссертации опубликованы в 15 научных статьях, из них 4 напечатаны в журналах, соответствующих требованиям ВАК.

Диссертация опробовалась на X Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механике (Нижний Новгород, 2011), на Международной конференции «Устойчивость, управление и динамика твердого тела» (Донецк, 2011), на других конференциях и семинарах. Отмечу, что в прошлом году Н.И.Лапин выступал с докладами по материалам работы в МГУ имени М.В.Ломоносова и в НИУ МЭИ, хотя это почему-то не отражено в автореферате.

Результаты диссертации могут быть непосредственно использованы в Институтах РАН, ведущих университетах как теоретическая база для создания

алгоритмов решения новых нелинейных задач движения твердого тела в сложно устроенных силовых полях.

В качестве замечаний оппонента по диссертации отмечу следующее.

1. Название диссертации носит чрезмерно общий характер и, вследствие этого, не вполне отражает своеобразие и оригинальность работы. Ведь в названиях, по крайней мере, девяти статей автора ключевыми являются слова «левитация диамагнитных тел». Эта тема, одна из основных тем диссертации, выпала из ее заголовка.
2. Хотелось бы видеть в обзоре литературы более полную информацию о работах последних лет, касающихся вопросов применения неприводимых тензоров. Так, в работе С.К.Годунова и В.М.Гордиенко (ПМТФ, 2002, т.43, №1), обсуждается формализация уравнений математической физики, в которых неизвестные при вращениях преобразуются по неприводимым тензорным представлениям. В работе В.М.Гордиенко (Сиб. мат. журн., 2002, т.43, № 1) рассматриваются матричные элементы вещественных представлений групп  $O(3)$  и  $SO(3)$ .
3. В работе отсутствует численный анализ параметров, которые сопровождают режим левитации диамагнитного ротора. В частности, отсутствуют значения силы тока и численные значения других параметров, при которых возможно стационарное состояние системы.

Несмотря на сделанные замечания, на основании изучения диссертации и ряда работ автора считаю, что в целом рецензируемая диссертация представляет собой серьезное исследование теоретических и прикладных аспектов важной задачи теоретической механики.

Считаю, что диссертационная работа Н.И. Лапина соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика, а ее автор Николай Иванович Лапин заслуживает присвоения искомой ученой степени.

Официальный оппонент профессор НИУ МЭИ доктор физико-математических наук профессор

А.И. Кобрин

Подпись профессора Кобрина А.И. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета НИУ МЭИ



И.В. Кузовлев