

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Малинки Алексея Викторовича
«Асимптотические и стереологические методы в теории светорассеяния и
оптическом дистанционном зондировании»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа представляет собой комплексное исследование на стыке теоретической физики, в частности теории рассеяния электромагнитных волн, и ее приложений в оптике атмосферы и криосферы. Диссертация ориентирована на разработку методов описания рассеяния излучения в существенно неоднородных и сложных природных средах, каковыми являются снег и морской лед, базируется на фундаментальных результатах волновой теории. Работа соответствует паспорту специальности 01.04.05 – «оптика» отрасли физико-математических наук (раздел 3, пункты 1 – геометрическая оптика, интерференция и дифракция, 2 – оптика рассеивающих сред и 5 – разработка основ новых технологий оптической регистрации и обработки изображений, передачи информации и электромагнитной энергии, диагностики биообъектов, природных и техногенных объектов и процессов).

Актуальность темы диссертации

Рассеяние света на несферических частицах и сложных средах является актуальной и сложной задачей современного теоретического анализа в оптике рассеяния. Стандартные подходы, базирующиеся на модели сферических частиц (например, теория Ми), демонстрируют ограниченность при описании реальных сред, таких как снег, морской лед и облака, состоящих из частиц несферической и часто произвольной формы. Это расхождение приводит к значительным неопределенностям в расчетах радиационного баланса Земли и, как следствие, в климатических моделях, что важно для контроля экологического состояния Земли в целом.

Актуальность работы подтверждается участием соискателя в ряде международных и национальных проектов, национальных программ и программ Союзного Государства, таких как ГЦП «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций», проекты БРФФИ, программа Союзного государства «Мониторинг-СГ» и других. Тема диссертации соответствует приоритетному направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства: Аэрокосмические и геоинформационные технологии».

Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Разработка оригинальных оптических моделей снега и белого льда как случайной смеси льда и воздуха демонстрирует возможность и адекватность применения строгих теоретических методов к решению прикладных задач оптики рассеяния с получением физически интерпретируемых результатов.

В работе автором предложены новые эффективные методы решения обратной задачи теории рассеяния по данным дистанционного зондирования. Разработанные в диссертации методы позволяют осуществлять восстановление размера снежных зерен в Антарктиде, доли снежниц в Арктике, размера капель в облаках. Следует особенно выделить метод восстановления размера частиц в облаках посредством рамановских лидаров и лидаров высокого разрешения, использующий вклад многократного рассеяния в направлении вперед в сигнал молекулярного рассеяния в направлении назад. При этом следует заметить, что использование многократного рассеяния для извлечения информации о микрофизике зондируемой среды является нетривиальной задачей.

Автор использует методы стационарной фазы и асимптотический анализ для получения новых аналитических выражений для индикатрис рассеяния в различных приближениях (Рэлея–Ганса, Вентцеля – Крамерса – Бриллюэна, Фраунгофера). Это позволяет строго обосновать поведение амплитуд рассеяния в предельных режимах и получить аналитические формулы, обладающие корректной асимптотикой.

Особое внимание заслуживает стереологический подход, позволивший автору связать статистические геометрические параметры частиц случайной формы с их оптическими характеристиками. Это представляет собой существенный шаг вперед в моделировании естественных сред, где микроструктура объектов не допускает тривиального описания.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Выводы диссертации представляются обоснованными и достоверными, поскольку они логически вытекают из последовательного применения признанных теоретических подходов и разработанных на их основе моделей. В своей работе соискатель корректно применяет такие методы теоретической физики как метод стационарной фазы и стереологический анализ для исследования асимптотического поведения функций рассеяния и их спектрального анализа. Математическое обоснование формул сочетается с физической интерпретацией. Модели не ограничиваются теоретическими выкладками — они проверены на реальных геофизических данных и интегрированы в алгоритмы восстановления характеристик сред по спутниковым и лидарным наблюдениям.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации

Научная значимость диссертации проявляется в ряде ключевых теоретических и методических достижений. Аналитические приближённые выражения для индикатрис рассеяния значительно расширяют возможности теории рассеяния, в отличие от дорогостоящих численных решений уравнений Максвелла для каждой отдельной частицы. Это критически важно для быстрого и точного расчета оптических свойств рассеивающих ансамблей. Стереологическая формулировка оптических свойств позволяет элегантно и физически обоснованно учитывать произвольную форму частиц в плотноупакованных средах.

Отталкиваясь от классических фундаментальных методов и результатов, работа доведена до важных практических приложений. Разработанные в диссертации модели применимы как в прямых, так и в обратных задачах рассеяния.

Практическая значимость работы подкреплена созданием оптических моделей снега, белого льда и снежицы, которые учитывают реальную микрофизику и загрязнённость, а также обеспечивают быстрый и точный расчет оптических свойств, что критически важно для оперативной обработки больших объемов спутниковых данных.

Особенно актуальны методы восстановления микрофизических параметров снежного покрова и облаков, критически важных для климатического моделирования. Методы решения обратных задач, разработанные для восстановления физических параметров полярных ледовых покровов и характеристик частиц облаков с использованием рамановских и высокоспектральных лидаров, представляют собой важный вклад в прикладную физику и дистанционное зондирование. Они открывают новые возможности для количественного анализа процессов, влияющих на радиационный баланс Земли и климатическую динамику. Таким образом, работа имеет прямое отношение к задачам климатического моделирования и мониторинга окружающей среды, что подчеркивает ее не только научную, но и социальную значимость.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Результаты, изложенные в диссертации, и положения, выносимые на защиту, опубликованы в научных изданиях с высоким импакт-фактором (от 1.0 до 23.4) и представлены в 6 главах монографий, 26 тезисах и 51 рецензируемой статье, 33 из которых соответствуют п. 19 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Объем диссертации составляет 246 страниц, из которых 37 страниц приходится на рисунки, 3 страницы – на таблицы, 32 страницы – на источники, 2 страницы – на приложение. Оформление диссертации (структурные элементы, разбиение по главам, рисунки, таблицы, список использованных источников и работ соискателя) выполнено в соответствии с требованиями

ВАК. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Несмотря на в целом высокую оценку результатов, полученных в диссертации А.В. Малинки, хотелось бы сделать ряд замечаний:

1. Рецензент не нашел в списке цитируемых источников ссылку на фундаментальную монографию Р. Ньютона Теория рассеяния волн частиц. Москва, Мир 1969г.
2. В списке цитируемых источников отсутствует ссылка на книгу М.И. Рязанова Электродинамика конденсированного вещества. Москва, Наука 1984 г.

В данной книге в главе Рассеяние электромагнитных волн, например, в параграфе Многократное рассеяние электромагнитных волн в веществе с крупномасштабными неоднородностями. Получено выражение для среднего квадрата угла отклонения в слое вещества и делается вывод, что области углов $\vartheta_1 \ll \vartheta \ll 1$ распределение рассеянного излучения по углам имеет гауссовский вид. Интересно было бы проанализировать данный вывод в части совпадения его с формулой (2.44).

3. Как пожелание на будущее. Интересно было бы исследовать применение преобразования Радона для задач диссертации, особенно в той части, где используются характеристические функции рассеивателя и метод случайных хорд. В связи с этим можно было бы рекомендовать монографию И.М. Гельфанда, М.И. Граева и Н.Я Виленина Обобщенные функции 5, Интегральная геометрия и связанные с ней вопросы теории представлений. Москва, ФМ, 1962 г.

Высказанные замечания и пожелание не влияют на положительную оценку диссертации А.В. Малинки. В работе получены высокого научного уровня результаты, имеющие важное практическое значение. Диссертация изложена хорошим языком.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Представленная работа охватывает ряд фундаментальных вопросов, лежащих на стыке теории электромагнитных волн, геометрической оптики, статистической физики, оптики природных сред и дистанционного зондирования. Соискателя отличает высокий уровень владения современными теоретическими подходами. Он продемонстрировал глубокое понимание асимптотических пределов применимости теории рассеяния, а также всесторонние знания существующих спутниковых и наземных систем дистанционного зондирования.

Безусловно, научная квалификация автора диссертации соответствует квалификации соискателя искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Заключение

Диссертационная работа А.В. Малинки «Асимптотические и стереоло-

гические методы в теории светорассеяния и оптическом дистанционном зондировании» представляет собой завершённую квалификационную работу и соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным главой 3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий». Соискателю может быть присуждена ученая степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика за совокупность новых научно обоснованных результатов, включающих

- получение аналитических формул, позволяющих описать характеристики рассеяния света ансамблем хаотически ориентированных частиц произвольной формы в условиях различного фазового сдвига;

- разработку оптических моделей снега, белого льда и снежицы, позволяющих рассчитывать их спектральное альбедо и коэффициент яркости по геометрическим параметрам и характеристикам микроструктуры;

- разработку методов восстановления характеристик снежного покрова Антарктиды и ледяного покрова Арктики, использующих разработанные оптические модели снега и льда, по спутниковым измерениям спектральной яркости, а также метода восстановления размера рассеивающих частиц в облаках и океане посредством зондирования рамановскими лидарами и лидарами высокого разрешения с множественным полем зрения.

Согласен на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси в сети Интернет.

Доктор физ.-мат. наук, профессор,
заведующий центром «Фундаментальные
взаимодействия и астрофизика»
Института физики НАН Беларуси

Ю. А. Курочкин

16 . 09 .2025 г.

