

## ОТЗЫВ

**научного руководителя на диссертацию «Энергия, импульс и угловой момент электромагнитного поля в средах с нелокальным нелинейным оптическим откликом», представленной Рыжиковым Платоном Сергеевичем на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика»**

Диссертация П.С. Рыжикова посвящена исследованию величин, связанных балансными уравнениями, описывающими законы сохранения энергии, импульса и углового момента электромагнитного поля в непоглощающих средах с нелокальным нелинейным оптическим откликом.

В первой главе получены соотношения внутренней симметрии тензоров нелокальной нелинейной оптической восприимчивости, характеризующих нелокальный нелинейный оптический отклик сред при его описании с помощью материальных уравнений в форме Ландау-Лифшица в первом приближении по параметру пространственной дисперсии. Выполнение этих соотношений симметрии оказывается необходимым для выполнения законов сохранения энергии и импульса электромагнитного поля в однородных нелинейных средах с нелокальностью оптического отклика. Полученные в работе П.С. Рыжикова соотношения внутренней симметрии для тензоров нелокальной нелинейной оптической восприимчивости, описывающих невырожденные по частотам нелинейные процессы, обобщают все ранее известные в этой области результаты. Для вырожденных по частотам нелинейных процессов эти соотношения получены в диссертации впервые.

В первой главе диссертации П.С. Рыжикова также рассмотрена проблема использования материальных уравнений в форме Ландау-Лифшица для описания неоднородных линейных и нелинейных сред с нелокальностью оптического отклика. Для линейных сред им впервые были получены соотношения внутренней симметрии тензоров локальной оптической восприимчивости и тензоров нелокальных оптических восприимчивостей всех порядков по параметру пространственной дисперсии. Отличительной чертой этих соотношений симметрии является возникновение в соотношениях для компонент тензора оптической восприимчивости ранга  $p$ , где  $p=0,1,2,\dots$  пространственных производных от компонент тензоров оптических восприимчивостей всех более высоких рангов. Благодаря этому оказалось возможным показать, что при корректном определении соотношений внутренней симметрии материальные уравнения в форме Ландау-Лифшица могут быть использованы для описания неоднородных сред с нелокальностью оптического отклика без искусственного добавления новых слагаемых. Последний результат также был обобщён на случай неоднородных нелинейных сред с нелокальностью оптического отклика.

Оставшаяся часть диссертации посвящена непосредственно получению связанных с нелокальностью нелинейного оптического отклика среды поправок в выражениях для компонент плотностей и плотностей потоков энергии, импульса и углового момента электромагнитного поля. В выражениях для

плотностей энергии, импульса и углового момента электромагнитного поля нелокальность оптического отклика среды проявляется только в виде учёта зависящих от пространственных производных поля слагаемых в выражении для поляризации среды. Соответствующие им плотности потоков энергии, импульса и углового момента в нелинейных средах с нелокальностью оптического отклика помимо учёта этих же слагаемых в выражении для поляризации среды также включают в себя новые слагаемые, не пропорциональные вектору поляризации среды, но зависящие при этом от компонент тензора нелокальной нелинейной оптической восприимчивости. Полученные результаты обобщают две тенденции, связанные с учётом влияния оптического отклика среды на выражения для плотностей и плотностей потоков энергии, импульса и углового момента электромагнитного поля: учёт пространственной дисперсии среды приводит к возникновению не пропорциональных компонентам поляризации среды слагаемым в этих величинах, а некоторые из слагаемых, связанных с нелинейной по полю поляризацией среды, входят в них с численными коэффициентами, определяемыми порядком нелинейности оптического процесса.

П.С. Рыжиковым было рассмотрено разделение плотности и плотности потока углового момента электромагнитного поля в средах с нелокальным нелинейным оптическим откликом на орбитальную и спиновую составляющие. Полученные выражения для плотностей орбитальной и спиновой составляющих углового момента также отличаются от аналогичных им выражений в средах, не проявляющих нелокальность оптического отклика, только входящими в них выражениями для поляризации среды, тогда как плотности потоков обеих составляющих углового момента света содержат новые слагаемые, связанные с нелокальностью оптического отклика среды. Помимо этих двух составляющих, плотность и плотность потока углового момента содержат также третьи составляющие, интегральные вклады которых в величины углового момента и его потока равны нулю.

На примере самофокусировки гауссова пучка в изотропной гиротропной среде П.С. Рыжиков выполнил численную оценку отношения связанных с кубическим откликом среды компонент плотностей и плотностей потоков энергии, импульса и спиновой составляющей углового момента к связанным с линейным откликом компонентам и показал, что при определённых параметрах среды и пучка это отношение может достигать десяти процентов на оси пучка на дистанции, на которой его пиковая интенсивность увеличивается в 50 раз относительно начальной. Хотя связанные с нелокальным кубическим оптическим откликом среды составляющие этих величин оказываются существенно меньше связанных с локальным кубическим откликом, они оказывают влияние на длину самофокусировки: пучки, у которых в средах с нелокальностью кубического отклика энергия оказывается выше, имеют меньшую длину самофокусировки, чем пучки с той же начальной интенсивностью и противоположным состоянием поляризации. Помимо этого, в средах с нелокальностью оптического отклика излучение с линейной поляризацией обладает неравной нулю спиновой составляющей углового момента.

Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в восьми работах в рецензируемых научных журналах из списков Scopus и Web of Science и доложены на трёх конференциях. В процессе проведения диссертационного исследования П.С. Рыжиков показал себя талантливым молодым учёным, способным успешно решать новые физические задачи. Ключевые результаты, вошедшие в диссертационную работу, получены автором лично, при его определяющем вкладе были подготовлены все публикации по теме диссертации.

Диссертация отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода, соответствует специальности 1.3.19. Лазерная физика (физико-математические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. П.С. Рыжиков, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19.

Научный руководитель:  
доктор физико-математических наук  
заведующий кафедрой общей  
физики и волновых процессов  
физического факультета МГУ,  
профессор

16.09.24

В.А. Макаров

Подпись В.А. Макарова заверяю:

Учёный секретарь Учёного Совета  
физического факультета МГУ  
доктор физико-математических наук  
профессор

С.Ю. Стремоухов