

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на (о) диссертацию(и) на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук Иванова Александра**  
**Сергеевича**  
**на тему: «Развитие методов вычисления функциональных интегралов в**  
**моделях квантовой теории поля»**  
**по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика»**

В диссертационной работе Иванова А. С. представлено развитие методов вычисления наблюдаемых величин в квантовой механике и квантовой теории поля. Рассмотрены как пертурбативные, так и непертурбативные методы вычисления наблюдаемых с использованием формализма функциональных интегралов. С помощью функционального интеграла удается достаточно просто записывать формальные выражения для наблюдаемых величин, но выполнить полное вычисление удастся в исключительных случаях. Проблема вычисления функциональных интегралов в квантовой механике и квантовой теории поля является одной из важнейших задач современной теоретической физики.

Глава 1 диссертационной работы посвящена общему введению в проблему вычисления функциональных интегралов в квантовой механике и квантовой теории поля. Одним из наиболее распространенных методов вычисления функциональных интегралов является метод построения ряда по константе взаимодействия – теория возмущений. Члены полученного ряда могут быть расходящимися и для устранения этих расходимостей применяются специальные методы. После устранения расходимости каждого отдельного члена ряда сумма ряда все же является расходящейся. Причина расходимости суммы ряда заключается в способе построения ряда теории возмущений, а именно не соблюдение условий теоремы Фубини при перестановке операций суммирования и интегрирования. Ряд теории возмущений оказывается асимптотическим. Если константа взаимодействия

оказывается малой величиной, то первые несколько членов ряда приближают искомую величину. Но если константа взаимодействия не является малой, то ряд теории возмущений сразу расходится. В некоторых случаях удается выполнить суммирование ряда теории возмущений методом суммирования по Борелю.

Эффективным непертурбативным методом вычисления функциональных интегралов является метод Монте-Карло для функциональных интегралов. Для этого используется конечная решеточная аппроксимация модели в Евклидовом пространстве-времени. Если действие модели является положительно-определенной величиной, то экспоненту с действием можно рассматривать как плотность вероятности, а вычисление наблюдаемых проводить путем усреднения по набору конфигураций случайных величин, имеющих рассматриваемую плотность вероятности. Однако, метод Монте-Карло для функциональных интегралов не может быть применен в моделях, где действие не является положительно-определенной величиной, так называемая проблема знака.

Глава 2 диссертационной работы посвящена расширению области применения метода Монте-Карло для функциональных интегралов для моделей релятивистской гамильтоновой динамики. Рассмотрена квантово-механическая модель с релятивистской кинетической энергией. Получено выражение для матрицы плотности рассматриваемой модели, а также выражения для кинетической и потенциальной энергий, а также корреляционной функции. В качестве примера рассмотрена модель с потенциалом гармонического осциллятора. Данная модель обладает аналитическими решениями в предельных случаях, поэтому является удобной для сравнения численных и аналитических результатов. Выполнено численное моделирование с помощью алгоритма Метрополиса для модели релятивистского осциллятора. Сравнение результатов с аналитическими решениями в предельных случаях позволяют сделать вывод о корректности предложенного расширения области применения метода Монте-Карло для

функциональных интегралов в моделях релятивистской гамильтоновой динамики.

Главы 3 и 4 диссертационной работы посвящены исследованию метода суммирования расходящегося ряда теории возмущений. Рассматриваются модели скалярного поля с полиномиальным взаимодействием четной степени, определенные на конечной и бесконечной решетках. В диссертационной работе построен сходящийся ряд. Обнаружена внутренняя симметрия, на основе которой построен вариационный ряд, обладающий лучшей скоростью сходимости. Исследованы свойства сходимости вариационного ряда, рассмотрены дополнительные регуляризации построенного сходящегося ряда. Для модели, определенной на конечной решетке доказано существование и сходимость вариационного ряда. Доказательство сходимости не связано с суммируемостью модели по Борелю, что позволяет применять предложенный метод для моделей, которые не являются суммируемыми по Борелю. Для моделей, определенных на бесконечной решетке, доказано, что если модель скалярного поля с полиномиальным взаимодействием четной степени суммируема по Борелю, то для нее можно построить соответствующие сходящийся и вариационный ряды. Выполнено сравнение численных результатов применения методов сходящихся рядов, вариационного ряда, суммирования по Борелю и Монте-Карло для функциональных интегралов для вычисления двухточечной функции Грина на конечной и бесконечной решетке. Результаты численного моделирования подтверждают корректность построения сходящегося ряда.

К содержанию и оформлению диссертации есть незначительные замечания. В диссертации рассматривается  $\varphi^4$ -теория в пространствах размерностей  $D=1, 2$ . В заключении к главе 4 Александр Сергеевич в нескольких предложениях обсуждает  $\varphi^4$ -теорию в пространстве размерностей  $D=3, 4$ . Ввиду значимости размерностей  $D=3,4$  для приложений, мне кажется, что более детальное обсуждение применимости методов, используемых в

диссертации, для этих вариантов  $\varphi^4$ -теории улучшило бы диссертацию. Так же я считаю, что было бы важным обсудить перспективы применимости методов, представленных в диссертации, для более реалистичных моделей квантовой теории поля. Наконец отмечу, что в диссертации Александр Сергеевич указывает размер исследуемых одномерных и двумерных решеток через их объем. Однако, такой способ не является общепринятым и может в ряде случаев (для  $D > 1$ ) запутать читателя.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3 – «теоретическая физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Иванов Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, доцент,  
начальник сектора физики адронной материи лаборатории теоретической физики  
ММО «Объединённый институт ядерных исследований»

Брагута Виктор Валерьевич

Контактные данные:

тел.: 7(909)684-95-08, e-mail: victor.v.braguta@gmail.com

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

141980, Россия, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6  
ОИЯИ, ЛТФ

Тел.: 7(909)684-95-08; e-mail: victor.v.braguta@gmail.com

Подпись сотрудника ОИЯИ

В.В. Брагута удостоверяю:

Ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ,

к.ф.-м.н

А.В. Андреев