

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
о диссертации Калиниченко Игоря Степановича
«Высокотемпературные разложения большого
термодинамического потенциала в фоновых полях»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика

В диссертации И. С. Калиниченко предложена формула полного высокотемпературного разложения большого термодинамического потенциала для частиц, находящихся в произвольном внешнем классическом поле, которая вовлекает экспоненциально малые по полям поправки. Полученное разложение применяется для исследования двух частных случаев: стационарного гравитационного поля, а также постоянного однородного магнитного поля.

Актуальность. Изучение процессов в ранней Вселенной является главной движущей силой развития формализма квантовой теории поля при конечной температуре. В этой связи особый интерес представляют именно релятивистские системы во внешних классических полях и соответствующие им высокотемпературные разложения для статсумм. Описание термодинамики таких систем также является не до конца решенной проблемой.

Научная новизна. В диссертации получена общая формула асимптотического высокотемпературного разложения большого термодинамического потенциала системы частиц в некотором внешнем поле. Одной из особенностей полученного разложения является тот факт, что вклады частиц и античастиц рассмотрены отдельно. Для классической системы заряженных бозонов в магнитном поле впервые построена зависимость магнитной индукции от напряженности внешнего поля в наивном однопетлевом приближении и доказано наличие фазового перехода в сверхпроводящее состояние. При суммировании высших порядков теории возмущений, дающих ведущий вклад при высоких температурах (кольцевые диаграммы), для аналогичной системы с самодействием доказано наличие перехода в ферромагнитное состояние. Общая формула высокотемпературного разложения применена также к классическому стационарному гравитационному фону; установлена зависимость пертурбативной и непертурбативной частей разложения свободной энергии от вектора Киллинга.

Общая характеристика диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и четырех приложений.

Во введении сформулирована актуальность темы исследования, а также приведен обзор литературы, обозначены цели и задачи исследования, сформулированы защищаемые положения.

Первая глава диссертации посвящена выводу общей формулы высокотемпературного разложения Ω -потенциала. Формула получена для бозонного и фермионного распределения. Зависимость разложения от внешнего поля содержится в дзета-функции, построенной по оператору Клейна-Гордона. В конце главы описано интересное наблюдение, позволяющее формально связать между собой вакуумную энергию и Ω -потенциал при больших температурах.

В начале **второй главы** диссертант рассматривает случай постоянного электромагнитного поля и выводит точное выражение для теплового ядра,

ассоциированного с Фурье-образом по времени уравнения Клейна-Гордона. Далее этот результат применяется к системе, находящейся в постоянном магнитном поле. Рассматривается режим сильных ($eV > m^2$) и слабых ($eV < m^2$) полей. В обоих случаях найдены разложения для скалярных и дираковских частиц, а также вакуумной энергии. В следующем разделе выведенные однопетлевые разложения используются для анализа поведения системы бозонов во внешнем магнитном поле: строится функциональная зависимость $\mathbf{H}(\mathbf{B})$, кривая равновесия диамагнитной и сверхпроводящей фаз, выводятся формулы для основных параметров перехода. Аналогичное изучение проводится также для системы бозонов, но уже с учетом температурных поправок к массе. Зависимость $\mathbf{H}(\mathbf{B})$ в данном случае представляет собой петлю гистерезиса, а сверхпроводящая фаза сменяется ферромагнитной.

Третья глава посвящена изучению бозонов в гравитационном поле, обладающем вектором Киллинга. Здесь описывается некий математический прием, позволяющий свести трехмерную задачу к четырехмерной и при этом сохраняющий явную ковариантность. Получены бозонные и фермионные разложения свободной энергии. Зависимость конечной и расходящейся частей от вектора Киллинга дополняет и уточняет известные в литературе результаты. В разделе 3.5 изучаются так называемые формулы спуска, с помощью которых, например, на математически строгом уровне можно доказать отсутствие зависимости от вектора Киллинга члена, соответствующего конформной аномалии. Все последующее изложение полностью посвящено выводу приближенного выражения для теплового ядра и получению с его помощью пертурбативных поправок в эффективное действие.

Приложения А и В содержат формулы, относящиеся к дифференциальному исчислению на римановых многообразиях с вектором Киллинга. В **приложении С** помещена сводная информации, касающаяся построения теории возмущений в квантовой теории поля. Описанный формализм применяется в **приложении D** к вычислению поправки второго порядка к тепловому ядру, отвечающему стационарной фоновой метрике.

Достоверность и обоснованность результатов в диссертации, подтверждаются их внутренней согласованностью и совпадением в ряде частных случаев с уже известными результатами других авторов. Результаты получены на основе строгих методов теоретической физики: метода фонового поля, нестационарной теории возмущений, формализма квантовой теории поля при конечной температуре, а также методов математической физики.

Основные результаты диссертации опубликованы в 4 работах в ведущих международных журналах с высоким импакт-фактором.

В адрес диссертации можно высказать следующие замечания:

1. Для интеграла по ω от дзета-функции приняты различные, не согласующиеся между собой обозначения (ср., например, (1.26) с (3.90)). Наличие/отсутствие тильды, по всей вероятности, также несет разную смысловую нагрузку в разных главах (ср. (2.45) с (3.125)). Отсутствие должных разъяснений может привести к путанице.

2. В диссертации энергия вакуумных флуктуаций получается из высокотемпературного разложения с помощью определенного технического

приема. Насколько полученное таким образом выражение согласуется с известным в литературе?

Тем не менее, приведенные замечания не снижают научную ценность работы. Полученные в диссертации результаты являются новыми и представляют научный интерес. Результаты исследования прошли необходимую апробацию, публикации раскрывают положения, выносимые на защиту. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Все вышеизложенное позволяет заключить, что диссертация «Высокотемпературные разложения большого термодинамического потенциала в фоновых полях» соответствует требованиям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Калинин Игорь Степанович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Официальный оппонент
 профессор кафедры теоретической физики
 федерального государственного бюджетного
 образовательного учреждения высшего образования
 «Томский государственный педагогический университет»
 (634061, г. Томск, ул. Киевская, 60;
 тел. (3822) 31-14-58; <http://tspu.edu.ru>; rector@tspu.edu.ru),
 доктор физико-математических наук
 (01.04.02 – Теоретическая физика)

Крыхтин Владимир Александрович

21 февраля 2018 г.

Подпись В.А. Крыхтина удостоверяю
 Ученый секретарь Ученого совета



Н. И. Медюха