УДК 531.51+517.938+536.7

НОВЫЙ ПОДХОД К ФОРМУЛИРОВКЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛИЗМА ТЕОРИИ СПИНОРНОГО ПОЛЯ

Канд. физ.-мат. наук, доц. ***СОКОЛОВА Н. М.***

Белорусский национальный технический университет

До сих пор к формулировке универсальных законов имелись три подхода: **термодинамический**, основанный на исследовании макроскопических структур; **статистический**, имеющий в своей основе микроскопические теории; **синергетический**, базирующийся на проблемах организации и самоорганизации динамического хаоса [2]. При этом синергетический подход объединяет два первых, так как организация хаоса – это фазовые неравновесные переходы, как в термодинамике, а самоорганизация хаоса – это процесс лазерной генерации, определяемый статистическими средними, как в статистической физике.

Автор предлагает новый – **релятивистски-синергетический**, или **спинорный**, подход на основе формализма теории спинорного поля. Эта теория строится на стыке идей синергетики, прикладной теории катастроф, качественной теории дифференциальных уравнений и калибровочной теории физического вакуума.

Современная теория физического вакуума, особыми состояниями которого являются классические и нетрадиционные физические поля, основана на постулатах специального, общего и всеобщего принципов относительности [1…8].

При создании квантовой теории Дирака и теории гравитации Эйнштейна в теоретической физике появился новый объект исследования – физический вакуум. Эйнштейн выдвинул программу «единой теории поля», чтобы создать единую теорию гравитации и электромагнетизма на базе особых геометрических свойств пространства.

Геометризация физических полей привела к введению кривизны (А. Эйнштейн) и кручения (Э. Картан) пространства. В основу геометризации пространства также были положены поступательные и вращательные координаты, определяющие свойства пространства и времени (Р. Пенроуз).

Г. Шипов вывел уравнения динамики полей инерции, связанных с кручением пространства. Эти уравнения описывают структуру физического вакуума и представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, в которую входят такие известные фундаментальные уравнения физики, как геометризированные уравнения Гейзенберга, геометризированные уравнения Эйнштейна и геометризированные уравнения Янга–Миллса [1].

Возмущение физического вакуума зарядом проявляется в виде электромагнитного поля (Я. Б. Зельдович); если источником возмущения физического вакуума является масса, то возникает гравитационное поле (А. Д. Сахаров); если в физический вакуум ввести классический спиновый момент, то появится поле кручения. Таким образом, вакуум можно рассматривать как возмущенную динамическую систему, обладающую интенсивными флуктуациями.

Спинорным полем назовем организованное векторное поле моментов вращения динамических систем и спиновых моментов элементарных частиц.

Механику «вакуумных» возбуждений введем следующим образом: фазовую плоскость (OXY) будем рассматривать как плоскость, на которой в динамическом хаосе существуют все возможные состояния всех возможных динамических систем второго порядка. В этот «физический вакуум» вносится система двух линеаризованных дифференциальных уравнений, коэффициенты которых зависят от управляющих параметров – параметризованная динамическая система (ПДС).

Хаос – это структура определенного типа, которая может быть строго описана математически некоторой функцией состояния [1, 3...6].

По авторскому алгоритму с точностью до константы определяется потенциальная функция $U(x,y)$, зависящая от коэффициентов ПДС в окрестности любой точки, в частности точки равновесия. ПДС задает векторное поле скоростей $\frac{\overline{dl}}{dt}=(\dot{x},\dot{y})$ в рассматриваемой области. Потенциальная функция в каждой области имеет векторную характеристику – $\mathrm{grad}U(x,y)$. Скалярное произведение этих двух векторов в любой точке области равно полной производной по времени от $U(x,y)$ на траекториях системы, т. е. $\dot{U}(x,y)=\mathrm{grad}U\frac{\overline{dl}}{dt}$.

Таким образом, возбужденный «физический вакуум» можно рассматривать как моментную сплошную среду, энтропия которой описывается потенциальной функцией $U(x,y)$ («потенциал самодействия»), а функция $\dot{U}(x,y)$ – это «потенциал взаимодействия среды и системы» [1, 4]. (Алгоритм построения потенциальной функции записан для нормальной системы автономных дифференциальных уравнений n-го порядка [5].)

При повороте фазовой плоскости (*OXY*) вокруг оси *OX* получаем трехмерное пространство. Исследование функций $U(x,\pm\sqrt{y^2+z^2})$ и $\dot{U}(x,\pm\sqrt{y^2+z^2})$ в окрестности точки равновесия системы позволило построить нетрадиционную сферическую окрестность этой точки, в которой выполняются условия теоремы Ляпунова, обеспечивающей устойчивость решений системы. При этом роль функции Ляпунова выполняет потенциальная функция $U(x,\pm\sqrt{y^2+z^2})$.

Из уравнения $U(x,y)=0$ в плоскости (*OXY*) получаются две пересекающиеся прямые, проходящие через начало координат, на которых потенциальная функция меняет знак. Доказано, что в определенных предположениях относительно параметризованных коэффициентов динамической системы, эти прямые являются координатными осями OX, OY, вокруг одной из которых происходит вращение фазовой плоскости (в данном случае вокруг оси *OX*) [5].

Из уравнения $\dot{U}(x,y)=0$ следуют два уравнения, описывающие две симметричные относительно осей координат (относительно границ $U(x,y)=0$) прямые. При вращении фазовой плоскости (OXY) вокруг оси OX эти прямые образуют круглый пространственный конус.

Аналитически исследование связано с введением матрицы поворота плоскости вокруг оси OX на угол φ. Показано, что при повороте на любой угол φ уравнения, описывающие систему, не меняются, а функции $U(x,y)$ и $\dot{U}(x,y)$ приобретают сомножитель $e^{i2\varphi}$.

Если $\varphi=\frac{\pi}{2}$, то уравнения ПДС остаются прежними, а функции $U(x,y)$ и $\dot{U}(x,y)$ меняют знаки на противоположные в новой фазовой плоскости (OXY'), перпендикулярной к плоскости (OXY).

В каждой из взаимно перпендикулярных плоскостей имеем по четыре круговых сектора, в которых выполняются условия теоремы Ляпунова об устойчивости, и четыре сектора, в которых эти условия не выполняются. При этом секторы выполнения и невыполнения условий теоремы чередуются.

Как только изображающая точка системы, находящаяся в секторе, где знаки $U(x,y)$ и $\dot{U}(x,y)$ противоположные, рисуя фазовую траекторию, достигает одной из границ (или $U(x,y)=0$, или $\dot{U}(x,y)=0$), производится поворот плоскости (OXY) вокруг координатной оси OX на угол $\varphi=\frac{\pi}{2}$. Так как одна из функций при повороте меняет знак один раз, а вторая функция меняет знак дважды (при повороте и при переходе соответствующей границы), в результате фазовая точка вновь попадает в сектор, где знаки у функций $U(x,y)$ и $\dot{U}(x,y)$ оказываются разными. И фазовая точка чертит траекторию до следующей границы, где снова нужно поворачивать плоскость вокруг оси и т. д.

Для того чтобы полностью начертить один раз замкнутую фазовую траекторию, нужно восемь раз повернуть плоскость и каждый раз – на угол $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Таким образом, период вращения $T = 8 \cdot \frac{\pi}{2} = 4\pi$, и только тогда изображающая точка вновь приходит в первоначальное положение. При этих вращениях получаем сферическую окрестность точки равновесия, в которой выполняются условия теоремы Ляпунова, что обеспечивает устойчивость решений.

Периодом вращения спина является $T = 4\pi$, т. е. спин возвращается в прежнее состояние через два полных оборота [6].

Этот факт и наличие в фазовом пространстве конуса, осью симметрии которого является координатная ось вращения, показывают, что в качестве математической модели спина можно рассматривать линейную параметризованную динамическую систему второго порядка, вращающуюся в сплошной векторной среде спинов. Назовем эту систему спинорной.

В случае, когда собственные значения матрицы устойчивости системы являются чисто мнимыми, доказано, что осью симметрии конуса вращения, в котором организуется спинорное поле, является координатная ось. Если точка равновесия системы является фокусом, т. е. собственные значения являются комплексно сопряженными, то ось симметрии плоского конуса, лежащего в фазовой плоскости, наклонена к оси OX под углом α. Ось симметрии этого плоского конуса является средним арифметическим угловых коэффициентов двух прямых – границ $\dot{U}(x,y) = 0$, и именно эта ось при вращении фазовой плоскости вокруг координатной оси, на которой выполнено условие $U(x,y) = 0$, является образующей конуса, синтезирующего внутри себя спинорный поток.

В полученном при вращении круглом конусе с помощью методов векторной алгебры и теории поля строятся векторные поля, величины и направления которых рассчитываются по формулам потоков векторных полей через поверхности конусов или с помощью формулы Остроградского–Гаусса – по объемам конусов от дивергенции векторных потоков.

Известно, что если два физических явления имеют сходное математическое описание, то сходным должно быть и качественное описание. Если две математические теории занимаются одним и тем же объектом, то между этими теориями должны быть объективные и качественные аналогии. Сравним две модели физического вакуума – калибровочную и спинорную.

Калибровочная модель [1]: на базе всеобщего принципа относительности построена геометрия абсолютного параллелизма (геометрия A_4) и исследована механика вакуумных возбуждений, представляющих сгустки пространства-времени с геометрией A_4. Доказаны основные тождества этой геометрии и получены уравнения структуры (уравнения Картана). Уравнения Картана записаны в матричной форме. В спинорном базисе вакуумные уравнения, введенные с помощью флуктуаций, расщепляются на уравнения материи и антиматерии. С помощью уравнений формализма Ньюмена – Пенроуза, которые являются следствием структурных уравнений Картана в пространстве A_4, получены частицеподобные и кварковые решения вакуумных уравнений, для которых дана физическая интерпретация в виде потенциалов самодействия и взаимодействия [9].

При сопоставлении параметров физического вакуума и параметров спинорного поля оказалось, что они практически совпали по сути. Для каждого параметра в теории физического вакуума найден аналогичный параметр в теории спинорного поля – смысл и форма уравнений совпадают, но размерность их разная.

Из табл. 1 следует, что фактически переход от калибровочной модели физического вакуума к спинорной модели определен заменой четырехмерного пространства $R^4 = R^3(x,\ y,\ z) \times R(t)$ трехмерным пространством $R^3 = R^2(x,y) \times R(\varphi)$, где φ – масштабированное время (вращение фазовой плоскости осуществляется в режиме следящей системы) [7, 8].

Указанная замена отчетливо иллюстрируется, если уравнения ПДС записать в форме спиновой матрицы Паули, иными словами, если динамическую систему погрузить в спинорное поле.

Таблица 1

Объективные параллели двух теорий

Калибровочная модель физического вакуума	Спинорная модель физического вакуума
• Объект исследования: пространство и время $R^4 = R^3(x,y,z)R^1(t)$, где (x,y,z) – физическое пространство; t – время	• Объект исследования: $R^3 = R^2(x,y)R^1(\varphi)$, где (x, y)– фазовая плоскость ПДС; φ – угол поворота фазовой плоскости вокруг оси OX, интерпретируется как масштабированное время
• Уравнения структуры (уравнения Картана): 36 уравнений	• Уравнения структуры: линейная система 2-го прядка с параметризованными коэффициентами, ПДС (два уравнения)
• Матричная запись структурных уравнений (матрица 6-го порядка)	• Матрица устойчивости системы (матрица 2-го порядка)
• Спинорный базис в геометрии A_4 содержит 12 спинорных коэффициентов	• Матрица устойчивости ПДС записана в форме спиновой матрицы Паули и содержит четыре коэффициента
• Организация структуры в геометрии A_4	• Организация сферической окрестности точки равновесия динамической системы
• В спинорном базисе вакуумные уравнения распадаются на уравнения «материи» и «антиматерии»	• При повороте фазовой плоскости «плоского мира» вокруг координатной оси на угол $\pi/2$ получается «плоский антимир»
• Частицеподобные и кварковые решения вакуумных уравнений физически интерпретируются как «потенциал самодействия» и «потенциал взаимодействия»	• Потенциальная функция – «потенциал самодействия»; полная производная потенциальной функции по времени на траекториях динамической системы – «потенциал взаимодействия»

Впервые автономную динамическую систему второго порядка в виде спиновой матрицы Паули записал Р. Гилмор в процессе глобального анализа динамических систем; начиная, естественно, с определения локальных динамических и структурных свойств устойчивости, зависящих от собственных значений матрицы устойчивости ПДС [10].

Элементарная теория катастроф изучает градиентные динамические системы, и глобальный анализ таких систем сводится к идентификации системы с одной из семи элементарных катастроф Тома.

Свойства автономных динамических систем анализируются с использованием терминологии и методов градиентных динамических систем. Для этого изучаются геометрические свойства линеаризованной матрицы устойчивости в пространстве R^4 спиновых коэффициентов системы.

Это пространство разбивается сепаратрисой, описывающей структурно неустойчивые системы, на открытые области, в каждой из которых параметризуются структурно устойчивые динамические системы. Компоненты сепаратрисы определяются собственными значениями матрицы устойчивости, и поэтому сепаратриса содержит компоненты, на которых меняется динамическая устойчивость, и компоненты, на которых динамическая устойчивость не меняется.

Для изучения компонент сепаратрисы Р. Гилмор ввел геометрическую интерпретацию корней характеристического уравнения. Мнимая часть комплексно сопряженных корней представлена внутренними точками открытого конуса, вершина которого находится в начале координат пространства спиновых коэффициентов и образующая конуса в координатной плоскости совпадает с биссектрисой координатного угла. Действительная часть корней принадлежит некоторой числовой прямой, не связанной с конусом. На этой прямой отмечаются точками действительные части корней, т. е. действительная и мнимая части не объединены в единый геометрический образ комплексного корня [10]. И это обстоятельство не позволило Гилмору до конца использовать преимущества его блестящей идеи.

В развитие концепции Р. Гилмора предлагается новый метод построения сепаратрисы, в котором прямая действительных частей собственных значений тесно связана с конусами, порождаемыми положительными, отрицательными и нулевыми значениями действительных частей. Метод позволяет представлять четырехмерное пространство спиновых коэффициентов в трехмерном пространстве в виде трех круглых конусов, в отличие от общепринятой интерпретации таких представлений на торе [5].

Этот подход позволил по-новому исследовать компоненты размерностей 3, 2, 1, 0 сепаратрисы спиновой матрицы устойчивости динамической системы; определить зависимости между двухмерными компонентами сепаратрисы и соответствующими видами уравнений динамической системы; исследовать связи между угловыми коэффициентами одномерных компонент и прямых $\dot{U}(x,y)=0$ – образующих плоского конуса. Пересечением одномерных компонент являются нульмерные компоненты сепаратрисы – точки, в которых существуют предельные циклы всех типов: устойчивые, неустойчивые, полуустойчивые. Все параметры этих циклов можно вычислить по определенному алгоритму.

Такой метод построения и исследования сепаратрисы позволяет определять и классифицировать возникающие новые структуры в точках неустойчивости, чего нельзя было сделать в термодинамическом подходе.

В [10] теория катастроф представлена в виде исследовательской программы Пуанкаре по изучению зависимости качественной природы решений уравнений от значений параметров, входящих в уравнения.

В качестве исходной приведена максимально возможная сложная система n интегродифференциальных уравнений, зависящая от пространственных и временных координат, управляющих параметров.

Введено семь последовательных предположений, на каждом этапе упрощающих начальную (находящуюся на нулевой ступени) систему. При этих упрощающих предположениях на четвертой позиции находятся «динамические системы» и далее вниз по порядку: «автономные динамические системы», «градиентные системы» и «состояния равновесия градиентных динамических систем».

Окончательно оформлены теории и методы исследования только для двух последних ступеней. Достаточно сказать, что обширная элементарная теория катастроф занимается изучением градиентных динамических систем, описываемых потенциальной функцией и находящихся на предпоследней позиции в программе.

Учитывая тот факт, что время t из объекта A_4 в калибровочной теории физического вакуума заменяется масштабированным временем – углом поворота фазовой плоскости динамической системы в трехмерном пространстве, описываемом потенциальной функцией, можно утверждать, что предложенный метод построения и анализа сепаратрисы позволит решать задачи, принадлежащие четвертой позиции исследовательской программы Пуанкаре.

Возможность подняться на четвертую ступень программы объясняется еще и тем, что неградиентные системы погружаются в градиентную сплошную среду.

Построение математической модели спинового момента и последующее развитие на его основе теории формализма спинорного поля – организованного векторного поля спиновых моментов элементарных частиц и вращающихся объектов – стало возможным при использовании основных идей синергетики [2, 3] и логически обоснованным продолжением и аналитическим развитием бифуркационной теории Р. Гилмора [10].

Спинорный подход к организации структуры моментной сплошной среды состоит из этапов:

- в калибровочной модели физического вакуума, сгустке пространства – времени A_4, выбираются параметры порядка (x,y) [2]. Для них строится упрощенная модель исходного объекта в виде ПДС (синергетический подход) [3];
- вращение фазовой плоскости вокруг координатной оси осуществляется системой, следящей за движением решений ПДС. Это позволяет рассматривать переменную поворотов φ как масштабированное время. Повороты фазовой плоскости – это аналоги фазовых переходов, так как при поворотах на углы, пропорциональные $\frac{\pi}{2}$, меняются знаки потенциалов са-

модействия $U(x,y)$ и взаимодействия $\dot{U}(x,y)$ (термодинамический подход);

• при вращении плоскости в конусе, ограниченном прямыми $\dot{U}(x,y)=0$, организуются векторные потоки таким же образом, каким в статистической физике возникает лазерная генерация: из хаотической векторной сплошной среды возникает направленный поток спиновых моментов, он становится согласованным в силу кооперативных процессов – коллективно выстраиваются организованные элементарные спиновые моменты;

• построенная модель спинорного поля позволяет определить устойчивость по Ляпунову: потенциал самодействия $U(x,y)$ при выполнении определенных условий становится функцией Ляпунова в пространственной окрестности точки равновесия системы, что обеспечивает устойчивость предельного цикла (автоколебательного процесса);

• возникновение неустойчивости также можно проследить на модели организованного поля, так как появляющиеся новые структуры проявляются в виде неустойчивых и полуустойчивых предельных циклов;

• фазовые переходы – это бифуркационные процессы. И так как среда – градиентное поле, погружение ПДС в эту среду позволяет построить сепаратрису, нульмерные компоненты которой определяют и классифицируют новые структуры, возникающие в точках неусточивости при фазовых переходах в неравновесной термодинамике И. Пригожина [9].

С помощью формализма теории спинорного поля решены классические задачи качественной теории дифференциальных уравнений:

• доказано существование предельных циклов в линеаризованных и параметризованных динамических системах без вычисления величин по Ляпунову и определены параметры этих циклов;

• решена задача существования особой точки типа «центр» для системы *n*-го порядка без построения функции последования.

Решения указанных задач без привлечения ляпуновских величин оказались возможными по той простой причине, что классическая подстановка Ляпунова, применяемая для приведения уравнений динамической системы к каноническому виду, разрушает все конусы.

Итак, спинорный подход объединяет все три подхода и содержит существенно новые возможности: описывает «физический вакуум»; определяет структурные и динамические устойчивости и неустойчивости; классифицирует новые возникающие структуры и их параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шипов Г. И.** Проблемы современной физики и теория вакуума. – М., 1987.
2. **Хакен Г.** Синергетика: Иерархия неустойчивостей. – М.: Мир, 1985.
3. **Хакен Г.** Информация и самоорганизация. – М.: Мир, 1985.
4. **Николис Г., Пригожин И.** Самоорганизация в равновесных системах. – М.: Мир, 1979.
5. **Математическая** модель спинорного поля / Н. М. Соколова: Отчет о НИР. № г. р. 2000303.
6. **Берж П., Помо И., Видаль К.** Порядок в хаосе. – М.: Мир, 1991.
7. **Арнольд В. И.** Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Наука, 1975.
8. **Барбашин Е. А.** Введение в теорию устойчивости. – М.: Наука, 1967.
9. **Гленсдорф П., Пригожин И.** Термодинамическая теория структуры устойчивости и флуктуаций. – М.: Мир, 1979.
10. **Гилмор Р.** Прикладная теория катастроф. – М.: Мир, 1984. – Т. 1, 2.