

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

**ТЕРЕХОВИЧ**

*Владислав Эрикович*

**ФИЛОСОФСКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
ПРИНЦИПА НАИМЕНЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 09.00.08 – философия науки и техники

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата философских наук

Санкт-Петербург

2013

Работа выполнена на кафедре философии науки и техники философского факультета Санкт-Петербургского государственного университета

Научный руководитель:

Дмитриев Игорь Сергеевич, д.х.н., профессор кафедры философии науки и техники Санкт-Петербургского государственного университета

Официальные оппоненты:

Севальников Андрей Юрьевич, д.ф.н., ведущий научный сотрудник Института Философии РАН РФ

Князев Виктор Николаевич, д.ф.н., профессор кафедры философии Московского педагогического государственного университета

Ведущая организация:

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д.212.232.03 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 199034, Санкт-Петербург, В.О., Менделевская линия, д. 5, факультет философии, ауд. \_\_\_\_\_

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
к.ф.н., старший преподаватель

Мавринский И. И.

## Общая характеристика работы.

**Актуальность исследования.** В физике используются несколько теорий, описывающих движение систем. Каждая теория опирается на свои понятия, аксиомы, модели и принципы, а еще на свои философские основания, принимаемые по умолчанию. В.С. Степин выделяет две взаимосвязанные подсистемы философских оснований науки. Первая – онтологическая, представленная сеткой категорий, служащих матрицей понимания и познания исследуемых объектов (понимания вещи, процесса, состояния, причинности, необходимости, случайности, пространства, времени и т.п.). Вторая – эпистемологическая, выраженная категориальными схемами, которую характеризуют познавательные процедуры и их результат (понимание истины, метода, знания, объяснения, доказательства, теории, факта и т.п.)<sup>1</sup>. Подтверждением этого могут служить слова М. Борна о том, что физика нуждается в философии уже потому, что слово «реальность» не имеет однозначного смысла<sup>2</sup>.

Когда одна из существующих парадигм (Т. Кун) или исследовательских программ (И. Лакатос), в которые входят теории с их философскими основаниями, не справляется с проблемами, несмотря на все модификации и вспомогательные гипотезы, возникает необходимость в альтернативах. Чтобы стать успешной, новая теория должна не отрицать, а обобщать предшественников, представляя их своими предельными случаями. Для этого она часто вынуждена критически пересмотреть привычные понятия, аксиомы и модели, а иногда и трансформировать свои философские основания. Такая трансформация, по выражению В.С. Степина, осуществляется путем выборки и последующей адаптации идей, выработанных в философском анализе, к потребностям определенной области научного познания<sup>3</sup>.

Одна из актуальных задач современного естествознания состоит в поиске способов объединения моделей движения в различных областях – в

---

<sup>1</sup> Степин В. С. Теоретическое знание. – М. : Прогресс-Традиция, 2000. – С. 160–180.

<sup>2</sup> Борн М. Физика в жизни моего поколения. Сборник. – М. : изд-во Иностранная литература, 1963. – С. 269.

<sup>3</sup> Там же.

космологии, в механике, в химии, в термодинамике, в биологии, в квантовой механике и т.д. В качестве объединяющего принципа на разных этапах развития науки предлагались: принцип равновесия, закон всемирного тяготения, принцип сохранения энергии, второе начало термодинамики, принципы развития сложных систем и другие. Для этой же цели пытались использовать и принцип наименьшего действия – один из экстремальных или, как их часто называют, вариационных принципов. Как известно, это один из самых широко используемых физических принципов. Все основные законы классической физики можно вывести, используя математическую конструкцию, именуемую действием. А. Эйнштейн считал, что всю общую теорию относительности можно разработать на основе только этого вариационного принципа<sup>4</sup>. Этот же принцип с успехом работает в оптике, в электродинамике, в квантовой теории поля. По мнению Р. Фейнмана, даже фундаментальная взаимосвязь между законами симметрии и сохранения (теорема Э. Нетер) покоится на принципе минимума действия<sup>5</sup>. Этот принцип более универсален, чем принцип сохранения энергии-импульса, и, по выражению М. Планка, господствует над всеми обратимыми явлениями физики, являясь «высшим физическим законом»<sup>6</sup>. А. Эддингтон называл двумя великими обобщениями науки принцип наименьшего действия и второй закон термодинамики<sup>7</sup>. Согласно современной энциклопедии физики этот принцип находится в ядре большей части современной физики<sup>8</sup>.

Несмотря на множество достоинств, принцип наименьшего действия не вписывается в философские основания доминирующих научных парадигм. Его не удастся вывести из других принципов, а для описания траекторий и состояний в нем используются понятия, больше привычные для философских рассуждений: «возможные», «действительные», «целевые». Не случайно Р. Фейнман обращал внимание, что принцип наименьшего действия по своей сути

---

<sup>4</sup> Эйнштейн А. Собрание научных трудов в 4 Т. – М. : Наука, 1965. – Т. 1. – С. 524.

<sup>5</sup> Фейнман Р. Характер физических законов. – М. : Наука, 1987. – С. 93.

<sup>6</sup> Планк М. Единство физической картины мира. – М. : Наука, 1966. – С. 85.

<sup>7</sup> Эддингтон А. Пространство, время и тяготение. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – С. 149.

<sup>8</sup> Moore T. A. in the entry on “least-action principle” in Macmillan Encyclopedia of Physics. – New York : Simon & Schuster Macmillan. 1996. Vol. 2. – P. 840–842.

– принцип философский<sup>9</sup>. В свою очередь, К. Ланцош предлагал даже в научных трактатах не избегать философских дискуссий о роли вариационных принципов механики<sup>10</sup>.

Под принципом наименьшего действия (сокращенно ПНД) в контексте данного исследования понимается не только соответствующий принцип классической механики, но и множество экстремальных принципов, прямо или косвенно с ним связанных. Эта связь опирается на взаимную выводимость уравнений, на несколько аналогий (геометрическую, математическую, оптико-механическую и др.), а также на общую размерность функционалов, соответствующих «действию» (время  $\times$  энергия). С целью упрощения обобщений для всех таких принципов в диссертации используется именно это название, ставшее широко распространенным благодаря работам Л.Д. Ландау и Р. Фейнмана. Под частными формами ПНД диссертант подразумевает экстремальные принципы движения систем, изучаемых в конкретных областях естествознания. Как будет показано в диссертации, существуют и другие экстремальные принципы, близкие по форме к ПНД и играющие важную роль в биологии, в теории информации, в задачах оптимального управления, то есть в областях знания, не связанных ни с механическим движением, ни с геометрией, ни с понятием «действие».

ПНД и все экстремальные принципы можно свести к общей форме: действительное движение или состояние системы отличается от всех возможных при данных граничных условиях тем, что некий функционал, характеризующий систему в целом, стационарен и принимает экстремальное значение. Другими словами, система ведёт себя так, чтобы одна из ее характеристик принимала минимальное или максимальное значение из всех возможных. Поскольку для нахождения стационарного или экстремального значения функционала применяется математическая операция варьирования, эти принципы часто называют вариационными. В ПНД таким функционалом является «действие», которое может выражаться интегралами по времени, по траектории в пространстве-времени и по объему любой размерности. Величина

---

<sup>9</sup> Фейнман Р. Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 3: Излучения. Волны. Кванты. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – С. 18.

<sup>10</sup> Ланцош К. Вариационные принципы механики. – М. : Физматгиз, 1965. – С. 21.

действия не всегда минимальна, иногда она максимальна, но всегда стационарна, поэтому, часто говорят о принципе стационарного действия. Стационарность действия означает, что бесконечно малые возмущения некоторой функции не вызывают его изменения в первом порядке малости.

Ключевую роль для философского анализа ПНД, по мнению диссертанта, играет метод «интегралов по траекториям» Р. Фейнмана. В основе последнего лежит предположение, что квантовые частицы одновременно движутся по всем возможным путям, а путь, наблюдаемый как реальный, отличается максимальной вероятностью, и является результатом суммирования всех возможных путей. В макроскопическом пределе этот путь соответствует траектории, предсказанной классическим ПНД.

**Основные проблемы исследования.** Многие поколения ученых используют частные формы ПНД, не заботясь о причинах их эффективности. Непостижимая эффективность вариационных принципов стала своеобразным символом веры физиков теоретиков<sup>11</sup>. О сложном отношении к ПНД свидетельствует его отсутствие в школьных программах и в курсах общей физики для вузов<sup>12</sup>. Неопределенность в отношении одного из фундаментальных принципов науки связана с тем, что ученые не считают его философский анализ своей сферой деятельности, а философы видят в нем лишь формальный метод научных вычислений. Существует явный пробел в понимании смысла ПНД, что выражается в слабой разработанности проблем с точки зрения философии науки. Вот лишь некоторые из вопросов, касающиеся ПНД и представляющие важность для философского анализа.

Связаны ли формы ПНД для разных видов движения друг с другом, и можно ли их привести к универсальному виду? Каково положение ПНД в системе законов природы? Каков философский и методологический статус ПНД? В чем физический и философский статус возможных траекторий (перемещений, состояний), которыми оперирует ПНД, и насколько они

---

<sup>11</sup> Визгин В. П. Непостижимая эффективность аналитической механики в физике // Метафизика. Век XXI. Альманах. Вып. 4 : метафизика и математика / Под. ред. Ю. С. Владимирова. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – С. 275–290.

<sup>12</sup> Владимиров Ю. С. Метафизика. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – С. 123.

реальны? Каким образом в ПНД соотносятся действующие и конечные (целевые) причины? Почему ПНД одинаково эффективен для описания вероятностных и детерминистических процессов в разных разделах науки? Почему «действие» стремится к экстремальным значениям? Почему в одних случаях «действие» минимально, а в других – максимально? В чем физический и философский смысл понятия «действие»? Как классическое действие связано с квантовым действием, используемым в методе «интегралов по траекториям»?

**Степень научной разработанности проблемы.** Уникальную эвристическую роль ПНД в описании поведения физических систем отмечали М. Планк, Л. Де Бройль, Э. Шредингер, Д. Бом, М. Борн, К. Ланцош. Ряд философских обобщений, связанных с ПНД, сделал Р. Фейнман в работах «Характер физических законов» (1968) и «Фейнмановские лекции по физике» (1965). В. Йорграу и С. Мандельштам одну из глав монографии «Вариационные принципы в динамике и квантовой теории» (1968) посвятили философскому анализу ПНД. Многие разделы курса «Теоретической физики» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица (1948-1959) начинаются с изложения ПНД.

В отечественной литературе по истории и философии физики ключевое место занимают монография Л.С. Полака «Вариационные принципы механики их развитие и применения в физике» (1960) и его сборник «Вариационные принципы механики» (1959), где автор провел философский анализ этих принципов и собрал основные сочинения физиков на эту тему. В работе «Принципы симметрии» (1975) В.П. Визгин исследовал связь вариационных принципов с принципами симметрии и сохранения. Г.Я. Мякишев в работе «Динамические и статистические закономерности в физике» (1973) предположил, что ПНД связан с методом «интегралов по траекториям» Р. Фейнмана, а, следовательно, имеет вероятностную природу. Анализ философского содержания экстремальных принципов проводился в работах В.А. Асеева: «Экстремальные принципы в естествознании и их философское содержание» (1977), «Детерминизм, экстремальные принципы и методы системного анализа» (1984) и других, где особое значение придается распространению этих принципов на биологию и синергетику. О.С. Разумовский исследовал философские проблемы экстремальных принципов,

связанные с причинностью и оптимальным управлением, в частности в работах «Современный детерминизм и экстремальные принципы в физике» (1975), «От конкурирования к альтернативам: экстремальные принципы и проблема единства научного знания» (1983). Несмотря на важность перечисленных работ, их научная база ограничена результатами, полученными к моменту написания. В работах В.А. Ассеева и О.С. Разумовского существенным ограничением оказались жесткие рамки советской традиции диалектического материализма.

За два с половиной столетия после первой формулировки споры о философском и научном статусе ПНД прошли через несколько этапов, анализу которых посвящены первые две главы диссертации. Все возникающие и существующие до сих пор гипотезы о смысле ПНД можно разделить на три группы. Согласно первой и преобладающей (Э. Мах, М. Борн, А. Эйнштейн, И. Пригожин) для ПНД и других экстремальных принципов не существует онтологических оснований, а сами принципы являются лишь изобразительной моделью и инструментом научного познания. И хотя объекты описываются так, как если бы они заранее знали свои экстремальные состояния или траектории, на самом деле это не так. Для современных физиков ПНД – это способ записывать физические законы в удобной для расчетов математической форме. В лучшем случае, ПНД – методологический и эвристический принцип, искусственная модель, основанная на свойстве мышления максимально экономно описывать наблюдаемые явления.

Согласно второй группе воззрений ПНД и другие экстремальные принципы – это частные феноменологические принципы, не имеющие всеобщего характера. Единство форм ПНД вызвано или общей природой механического движения (У. Гамильтон, К. Гаусс), или геометрией искривленного пространства и движением по геодезическим линиям (Г. Герц, Д. Гильберт, А. Пуанкаре), или аналогией классического и квантового действия в методе «интегралов по траекториям» (П. Дирак, Р. Фейнман, Э. Тейлор, Дж. Огборн).

Третья, самая непопулярная группа гипотез рассматривает ПНД и экстремальные принципы как функциональную модель или как следствие универсального метафизического принципа природы. Например, принципа мировой божественной экономии усилий, пространства и времени (Г. Лейбниц,

П. Мопертюи, Л. Эйлер) или принципа экономии природы (Г. Гельмгольц, А. Эддингтон, М. Планк). В.А. Ассеев предлагал выводить экстремальные принципы из диалектических принципов взаимодействия и взаимопревращения противоположностей, отмечая, что экстремумы – это линии равновесия, а любое устойчивое состояние является экстремальным. О.С. Разумовский пытался вывести их из диалектического принципа взаимосвязи категорий наименьшего и наибольшего, из принципов причинности, симметрии и сохранения. Часть ученых доказывали, что ПНД – более общий принцип, чем закон сохранения энергии-импульса (М. Планк, Р. Фейнман, Л. С. Полак, А. Бризард, Г. Голдштейн).

Несмотря на большое число нерешенных философских и методологических проблем, связанных с применением экстремальных или вариационных принципов, в современной отечественной и зарубежной литературе практически отсутствуют систематические исследования их философского содержания. В последние годы лишь несколько отечественных авторов касаются философских проблем ПНД. В.П. Визгин в работе «Непостижимая эффективность аналитической механики в физике» (2011) сравнивает непостижимость эффективности математики и вариационных принципов и говорит о третьей – аналитико-механической онтологии, наряду с математической и собственно физической. А.И. Липкин в статье «Место понятий и принципов «парящих над» отдельными разделами физики» (2010) выражает общепринятую точку зрения, что ПНД – это математическая форма в рамках вариационного исчисления, а действие, в отличие от энергии, не физическая величина, а математический объект. Как вариационный метод в механике, так и «интегралы по траекториям» в квантовой механике, он рассматривает лишь как иное эквивалентное математическое представление. Л.Н. Цехмистро в диссертации «Эволюция и методологическое значение понятия действия в физике» (1992) в качестве онтологического основания принципа стационарности действия рассматривает свойство конечной физической неделимости мира. Г.А. Голицин и А.П. Левич в статье «Вариационные принципы в научном знании» (2004) делают вывод о том, что принцип наименьшего принуждения и его статистический аналог – принцип максимума различающей информации могут служить базой для отыскания

новых экстремальных принципов, в том числе с участием понятия энтропии. Е.В. Луценко в работе «Универсальный информационный вариационный принцип развития систем» (2008) высказывает гипотезу, что вариационные принципы механики являются проявлением информационного вариационного принципа. Из зарубежных авторов следует выделить статьи Дж. Катцава «Диспозиции и принцип наименьшего действия» (2004) и М. Штольтцнера «Может ли принцип наименьшего действия считаться относительным априори?» (2009).

Остальные многочисленные исследования обычно ограничиваются или практическим применением ПНД, или его методологической ролью в отдельно взятой области. За последние 15 лет издано большое число отечественных и зарубежных работ, посвященных использованию экстремальных или вариационных принципов в разных разделах науки. Продолжаются исследования связи ПНД с классической механикой Ньютона. Возник интерес к использованию ПНД в космологии, в том числе в теории струн. Несколько исследований посвящено связи ПНД с квантовой теорией. Ряд работ связано с применением вариационных принципов в термодинамике, гидродинамике и химии. К ним близки исследования вариационных принципов в теории информации и теории сложных саморазвивающихся систем. Экстремальные принципы распространяются на биологические системы и оптимальное управление. Однако, несмотря на то, что категории «возможность», «действительность» и «вероятность» играют ключевую роль в экстремальных принципах, философы науки в последние десятилетия не рассматривают эти принципы в качестве возможного кандидата на онтологическую или методологическую основу решения проблем соотношения причинности и вероятности.

**Объектом диссертационного исследования** является философский анализ экстремальных принципов естествознания. **Предмет исследования** – философские и методологические проблемы принципа наименьшего действия (ПНД) в философском, научном и историческом контекстах. **Цель исследования** состоит в философском обобщении экстремальных принципов

физики на основе вероятностной интерпретации ПНД. Для достижения указанной цели реализуется несколько задач.

1. Исследовать историческое развитие ПНД и других экстремальных принципов в основных естественных науках. Сформулировать и классифицировать нерешенные философские и методологические проблемы, возникающие при использовании этих принципов.

2. Раскрыть связь ПНД с философскими категориями «возможного» и «действительного».

3. Исследовать место ПНД в системе физических законов, описывающих движение. Изучить связи между частными формами ПНД разных разделов физики.

4. Изучить возможное онтологическое содержание физического механизма превращения траекторий квантовых объектов в классические траектории и релятивистские мировые линии.

5. Исследовать варианты решения проблемы соотношения в ПНД действующих и конечных (целевых) причин, а также вероятностной и однозначной причинности.

**Научная новизна.** В результате анализа исторического развития и современного состояния нескольких областей естествознания показана ключевая роль ПНД и других экстремальных принципов в возникновении основных научных теорий XIX и XX веков. Показано, что создатели всех экстремальных принципов использовали одни и те же эвристические методы, включающие аналогию механических, оптических и волновых явлений. В развитие работ Л.С. Полака, описано возникновение экстремальных принципов для необратимых процессов (неравновесная термодинамика, теория информации, биология), описана связь ПНД с интерпретациями квантовой механики.

Формулировки двадцати экстремальных принципов приведены к общей схеме. Для каждого указаны граничные условия, описаны критерии отличия действительных движений (состояний) системы от возможных. Сформулирован физический смысл отдельных принципов, перечислены их связи друг с другом.

Показано, что все эти принципы обладают общими свойствами, и могут быть сведены к общей математической форме.

Сформулирован и систематизирован наиболее полный на сегодня перечень восемнадцати методологических и философских проблем экстремальных принципов. Проблемы объединены в три группы: о разнообразии формулировок, о месте ПНД в системе физических законов, о причинности в ПНД. Исследовано развитие взглядов ученых и философов на проблемы каждой группы.

Развитие экстремальных принципов сопоставлено с философскими представлениями о возможном и действительном модусах существования, о внутренней активности систем, реализующих свои возможности.

Вместо представлений об исследовании частицами всех траекторий (Р. Фейнман), о стремлении систем достичь экстремума некой целевой функции (В.А. Ассеев), об общей экстремальной закономерности, объективно присущей материи (О.С. Разумовский), диссертант предлагает рассматривать концепцию, где действительное движение является следствием имманентного свойства физических систем реализовывать максимальное число своих возможных движений.

Вместо распространенных попыток заменить телеологическое содержание ПНД другими формами причинности, предлагается рассматривать действующие и целевые причины как равноправные и относительные, раскрывающие один из аспектов причинно-следственной связи.

Вместо определения экстремумов как результата равновесия и устойчивости взаимодействия диалектических противоположностей (В.А. Ассеев), автор диссертации предлагает сводить все экстремумы к максимуму вероятности.

**Теоретическая и практическая значимость.** За счет модификации сетки категорий реальности и причинности результаты исследования позволяют по-новому взглянуть на онтологические основания физических теорий, что может способствовать эвристике нового научного поиска и решению философских проблем естествознания. Создается основа для

методологического и философского обоснования универсальной эффективности экстремальных принципов.

Для решения проблемы телеологии, вместо отдельного изучения множества причин, действующих или конечных, внешних или внутренних, может рассматриваться единая онтологически значимая внутренняя причина каждой системы, независимо от ее типа, размера и сложности.

Вероятностную интерпретацию ПНД можно использовать для обобщения экстремальных принципов необратимых процессов в сложных саморазвивающихся системах, как физических, так и биологических.

### **Методологические и теоретические основы исследования.**

Необходимость целостного философского изучения ПНД определила многоаспектный, в том числе герменевтический анализ объекта исследования. Теоретической основой исследования послужил ряд научных и философских концепций:

– представление о том, что трансформация философских оснований науки является особым слоем исследовательской деятельности на стыке между философией и конкретной наукой, и осуществляется совместно философами и учеными-специалистами в рамках философии и методологии науки (В.С. Степин);

– классические работы по экстремальным принципам механики, электродинамики, теории относительности и квантовой механики (Э. Уиттекер, Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, К. Ланцош, Р. Фейнман), термодинамики (И. Пригожин, И. Дьярмати);

– представление физиков (М. Планк, А. Эддингтон, Р. Фейнман), историков и философов физики (Л.С. Полак, В.П. Визгин, Г.Я. Мякишев, В.А. Ассеев) о фундаментальной роли ПНД в системе физических законов, его связи с вероятностной причинностью, законами симметрии и сохранения;

– философская традиция рассматривать «возможное» и «действительное» как два модуса существования (Аристотель, Ф. Аквинский, Н. Кузанский, Г. Лейбниц, Г. Гегель, Н. Гартман), а также современные исследования в этой области (Т.Н. Горнштейн, В.П. Бранский, С.С. Хоружий);

– понимание вероятности как меры перехода «возможности» в «действительность». (В.А. Фок, Л.С. Полак, К. Поппер, В.П. Бранский, А.Ю. Севальников);

– представления о вероятностном подходе как о фундаментальном способе описании любых процессов природы (И. Пригожин, В.С. Степин).

– «трансцендентальный аргумент» И. Канта, согласно которому в основе телеологических суждений лежит не целесообразное устройство объектов, а познавательный механизм субъекта; с другой стороны, представление о том, что природа не отдает предпочтения конечным или действующим причинам, а для описания эти причины взаимно дополняют друг друга (Г. Лейбниц, И. Кант, Л. Эйлер, Г. Вейль);

– представления об онтологическом характере внутренней активности любых объектов (Г. Лейбниц, Г. Гегель, А. Бергсон, К.Э. Циолковский), а также о вероятности как следствии самодвижения материи (М. Планк, В.А. Фок, Д. Бом, М. Бунге, Ф. Дайсон).

– философские заключения некоторых физиков о том, что связь квантовой механики, теории волн и классической механики осуществляется посредством: ПНД и оптико-механической аналогии принципов Гюйгенса и Гамильтона (Л. Де Бройль, Э. Шредингер), аналогии кванта действия и классического действия (М. Планк, П. Дирак, Р. Фейнман), через интерференцию волновых функций (Д. Бом, В.А. Фок);

– взгляд на квантовые процессы как на переход из возможного состояния в действительное (В. Гейзенберг, Д. Бом, В.А. Фок, К. Поппер); основные интерпретации квантовой механики: копенгагенская (Н. Бор, В. Гейзенберг), холистская (Д. Бом), многомировая (Х. Эверетт), декогеренции (В. Зурек, Дж. Гринштейн и А. Зайонц); исследования природы квантовой реальности (Р. Пенроуз, А.Ю. Севальников);

– метод «интегралов по траекториям» Р. Фейнмана, играющий центральную роль в современной квантовой теории поля, а также гипотезы об этом методе, как о способе обобщения законов движения (Р. Фейнман, Г.Я. Мякишев, Э. Тэйлор, Дж. Огборн);

Из методологических принципов научного познания диссертант в первую очередь использовал принципы соответствия, согласованности и симметрии.

Опираясь на идеи В.А. Штоффа о моделях как средствах интерпретации и объяснения, и для создания объяснительной модели ПНД, диссертант использовал методы аналогии и синтеза. Для наглядного представления связей между известными физическими принципами использован графический и табличный методы.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. С экстремальными принципами основных разделов естествознания связан ряд методологических и философских проблем, решение которых возможно путем синтеза исторического опыта их научного использования, осмысления последних достижений квантовой физики, философского анализа таких категорий, как реальность, возможность, пространство, причинность, вероятность, случайность.

2. ПНД и другие экстремальные принципы можно рассматривать не только как методологические принципы, но и как физическую модель описания философской идеи перехода возможного существования в наблюдаемую действительность. Для этого возможные или виртуальные перемещения, состояния и траектории, которыми оперируют эти принципы, предлагается рассматривать не как формальный прием и математическую абстракцию, но и как имеющие определенную степень существования на квантовом уровне.

3. В соответствии с интерпретацией ПНД как принципа максимальной вероятности и концепцией «суммирования сосуществующих возможностей», все возможные движения физической системы сосуществуют вне категорий пространства и времени. Иначе говоря, физическая система находится сразу во всех движениях, возможных при данных граничных условиях. В результате сложения всех возможных движений, одно из них становится результирующим, а его вероятность – максимальной. Максимум вероятности для различных типов систем в пределе проявляется через минимумы или максимумы одной из характеристик (действие, оптическая длина, разность кинетической и потенциальной энергии, принуждение, собственное время, кривизна и т.д.), что выражается в частных формах ПНД. Результирующее движение системы наблюдается как действительное в четырехмерном пространстве-времени.

Таким образом, величину действия можно рассматривать как меру реализации конкретного возможного движения системы.

4. ПНД в вероятностной интерпретации можно рассматривать как модель, предельными случаями которой являются экстремальные принципы нескольких разделов физики.

5. С точки зрения физики, возможные движения систем находятся в квантовой суперпозиции, и происходят сразу во всех размерностях  $n$ -мерного пространства различной топологии. Суперпозиция возможных квантовых траекторий путем совместного механизма декогеренции и интерференции преобразуется в макроскопическом масштабе в действительную классическую траекторию или релятивистскую мировую линию. Остальные возможные движения не исчезают, а продолжают существовать в суперпозиции, оставаясь нереализованными вплоть до изменения граничных условий.

6. То, что мы наблюдаем как целенаправленное движение конкретной физической системы, предлагается рассматривать как результат суммирования всех возможных движений всех взаимодействующих в данных условиях систем. Ни одна система не «знает» заранее своего действительного конечного состояния. И действующей, и целевой причиной любой системы является не конкретное состояние, и даже не равновесие, а максимальная реализация всех имеющихся в данных условиях возможностей системы по сохранению и изменению ее движения. При такой интерпретации в качестве альтернативной основы физических явлений рассматривается не устойчивость или экстремальность, а мера вероятности осуществления одного из возможных движений (состояний).

**Апробация диссертации.** Основные результаты работы были доложены и обсуждены на конференциях: международная конференция «Онтологические исследования в современной России» (Санкт-Петербург. СПбГУ, ноябрь 2010); международная конференция «Онтологические исследования в современном мире: теория, аксиология, практика» (Санкт-Петербург. СПбГУ, ноябрь 2011).

По материалам диссертации опубликовано 6 статей общим объемом 4,5 а. л., из них 4 в научных журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, разделенных на параграфы, заключения и списка литературы. Работа выполнена на 224 страницах, включая 3 таблицы и 4 рисунка. Список литературы содержит 282 наименований: 202 на русском, 80 на иностранных языках.

### **Основное содержание работы**

Во **Введении** дается общая характеристика проблематики диссертации, обосновывается ее актуальность, описываются теоретические и методологические основы, научная новизна, формулируются цели и задачи исследования, перечисляются выносимые на защиту результаты. Отмечена теоретическая и практическая ценность исследования.

Для обнаружения и систематизации единых философских и методологических оснований многочисленных форм ПНД в первой главе **«Экстремальные принципы в развитии естествознания. Исторический обзор»** проведен краткий обзор возникновения и использования этих принципов. В первом параграфе **«Экстремальные принципы в механике»** рассмотрены философские источники (Н. Кузанский, Д. Бруно, Г. Лейбниц), дано краткое описание экстремальных принципов механики и смысл, вложенный в них создателями: П. Ферма, П. Мопертюи, Л. Эйлером, Ж. Лагранжем, Д'Аламбером, У. Гамильтоном, М.В. Остроградским, К. Гауссом, К. Якоби, Ф. Журденом, Г. Герцом.

Во втором параграфе **«Экстремальные принципы в термодинамике»** описана связь второго начала термодинамики (Р. Клаузиус, Л. Больцман) с другими экстремальными принципами равновесных термодинамических систем (Дж. Гиббс). Описан вариационный принцип И. Дьярмати, объединяющий принцип наименьшего рассеяния энергии Л. Онсагера и теорему И. Пригожина о минимуме производства энтропии. Приводится еще один принцип Дьярмати, аналогичный принципу наименьшего принуждения Гаусса в механике. Описаны идеи синергетики (Г. Хакен) и теории диссипативных структур (И. Пригожин), согласно которым стремление сложных открытых систем к состоянию с максимальной устойчивостью и вероятностью является глобальным принципом отбора. Частными принципами

отбора в этом случае становятся экстремальные принципы, описывающие промежуточные состояния-аттракторы, в которых некоторые потенциалы системы принимают максимальное или минимальное значение.

В третьем параграфе **«Экстремальные принципы в электродинамике, теории относительности, теории поля»** описаны попытки свести электродинамику и электронную теорию к единым динамическим принципам движения материи путем поиска соответствующего выражения для функции Лагранжа в ПНД. Показано, что из частных ПНД можно получить уравнения Максвелла и уравнения общей теории относительности. Описаны попытки создания единой теории поля на основе ПНД, но без учета вероятностного характера квантовых систем.

В четвертом параграфе **«Экстремальные принципы в квантовой механике»** на основании работ создателей квантовой механики (Н. Бор, М. Планк, Л. Де Бройль, П. Дирак, Р. Фейнман) описана малоизученная с философской точки зрения связь частных ПНД механики и теории поля с квантовой механикой. Обращено внимание на то, что возможные траектории тела совпадают с возможными лучами фазовой волны, а «квант действия служит соединительным звеном между корпускулярным и волновым представлениями о материальных частицах»<sup>13</sup>. Показано, как Э. Шредингер получил волновое уравнение на основе аналогии ортогональных траекторий волновых поверхностей и путей движения системы в соответствии с ПНД в форме Гамильтона-Якоби. После чего П. Дирак предложил каждую возможную эволюцию квантовой системы описывать через оператор, содержащий функцию, эквивалентную классическому действию и имеющей смысл фазы волны вероятности. Описан метод «интегралов по траекториям» Р. Фейнмана.

В пятом параграфе **«Экстремальные принципы в космологии»** приведены данные об использовании ПНД для расчетов движения космических тел, орбит галактик, а также в теории струн. Аналогично движению частиц вдоль геодезических линий в искривленном пространстве, движение струны представляется вдоль мирового листа или по мировой трубе. Для расчета

---

<sup>13</sup> Де Бройль Л. Революция в физике. – М. : Атомиздат, 1965. – С. 135.

траектории струн минимизируется аналог длины пути — площадь мировой трубы.

Шестой параграф **«Экстремальные принципы в теории информации»** посвящен обзору принципов, связанных с экстремальными принципами равновесной и неравновесной термодинамики (синергетики), описанными во втором параграфе. Эта связь показана на примере негэнтропии (Л. Бриллюэн) и информационной энтропии (К. Шеннон). Отмечена особая роль формализма Э. Джейнса, иллюстрирующего фундаментальную связь между теорией информации, статистической термодинамикой и квантовой механикой. Описан принцип максимума информационной энтропии, обобщающий принцип максимума энтропии в вероятностной форме, где энтропия рассматривается как мера незнания. Формализм Джейнса описан как частный случай другого общего метода статистики — принципа минимума различающей информации (А. Реньи, С. Кульбак).

В седьмом параграфе **«Экстремальные принципы в химии и биологии»** перечислены многочисленные попытки перенести экстремальные принципы из неравновесной термодинамики, синергетики и теории информации на химические процессы и живые системы, а также на социальные системы и оптимальное управление.

В восьмом параграфе **«Обобщение исторического обзора»** собраны двадцать из перечисленных в первой главе частных форм ПНД и связанных с ними экстремальных принципов. Диссертант приводит краткие выводы о месте и роли этих принципов в развитии естествознания. Выводы касаются: возможности единой формулировки, связи с равновесием и устойчивостью, широты использования в науке, математической формы, инвариантности, понятий потенциальной возможности и действительности, конечной и вероятностной причинности.

Во второй главе **«Методологические и философские проблемы ПНД»** автор диссертации дает классификацию этих проблем, описывает варианты и современное состояние их решения. Первый параграф **«Проблема разнообразия формулировок ПНД»** посвящен поиску связей частных ПНД из разных областей естествознания, определению границ их применимости и возможности обобщения. На основе обзора литературы делается вывод, что

рассуждения об общих основаниях частных ПНД до настоящего времени опираются лишь на интуитивные догадки о единстве типов движения и метод аналогий.

Во втором параграфе **«Проблема места ПНД в системе физических законов»** рассмотрена история развития взглядов на методологическую и философскую сущность этого принципа. После формулировки списка проблем, связанных с философским и научным статусом ПНД, существующие гипотезы об этом статусе диссертант делит на три группы, критический анализ которых проводит в третьей главе.

В третьем параграфе **«Проблема целенаправленности и вероятности в ПНД»** проанализированы понятия «целенаправленность» и «вероятность», связанные с проблемой причинности. Показаны попытки совместить два типа описания движения – через действующие и через конечные (целевые) причины. На примере работ Аристотеля, Г. Лейбница, И. Канта рассмотрены философские основания проблемы телеологии. Используются исследования Д.Н. Разеева о «трансцендентальном аргументе» И. Канта, согласно которому в основе телеологических суждений о природе лежит не целесообразное устройство объектов, а познавательный механизм субъекта. Первоначально телеологичность ПНД рассматривалась как проявление божественной экономии (Г. Лейбниц, П. Мопертюи, Л. Эйлер). Ссылка на Бога стала основанием для жесткой критики (Ж. Лагранж, Д'Аламбер, Ф. Вольтер). Другое возражение основано на том, что действие не всегда минимально, а значит, не всегда экономится (У. Гамильтон, Л.С. Полак). Часть ученых причину кажущейся целесообразности ПНД видели в стремлении мышления к экономии (Э. Мах, М. Борн). Другие рассматривали конечные причины, скрыто присутствующие в ПНД, как удобный эвристический прием и как следствие обычной действующей причинности (В.А. Ассеев, М. Бунге).

Несмотря на укоренившееся философское понимание принципа причинности, согласно которому причина всегда предшествует следствию во времени, а будущее не может влиять на настоящее, ряд философов и ученых (Г. Лейбниц, И. Кант, Л. Эйлер, Г. Вейль, Дж. Уитроу) склонялись к тому, что природа не отдает предпочтения конечным или действующим причинам, а с точки зрения описания эти причины взаимно дополняют друг друга. После

краткой классификации шести типов причинности автор диссертации приводит исторический обзор трактовки ПНД с точки зрения однозначной и вероятностной причинности. Дается обзор современных интерпретаций состояния в квантовой механике как перехода из возможного состояния в действительное.

В третьей главе **«Вероятностная интерпретация ПНД»** сформулирована авторская концепция «суммирования сосуществующих возможностей», на ее основе дается вероятностная формулировка ПНД. В первом параграфе **«Связи между частными формами ПНД и другим принципами физики»** рассмотрены философские основания четырех способов описания движения одного и того же тела: теории Ньютона, принципа Гамильтона, общей теории относительности и квантовой механики в фейнмановской формулировке. Опираясь на формальные связи и аналогии законов квантовой механики с другими теориями движения, на идеи теории струн и, используя схему Э. Тейлора из статьи «Призыв к действию» (2003), автор диссертации предлагает расширенную модель, в которой механика Ньютона представлена как предельный случай квантовой механики и теории относительности, а теория относительности как предельный случай квантовой механики. Хотя квантовой теории гравитации еще не создано, диссертант считает, что для ее построения можно использовать предложенную модель связи мегамира и микромира. Обобщив связи ПНД с другими физическими теориями, автор диссертации предлагает, не имеющую аналогов, эвристическую схему, связывающую не только законы и принципы физического движения, но и языки или модели описания этого движения.

Для объяснения причин и механизма перехода от одних видов движения к другим во втором параграфе **«Концепция “суммирования сосуществующих возможностей” – переход из возможности в действительность»** автор анализирует онтологические основания такого перехода. На основе философской традиции представления «возможного» и «действительного» как двух модусов существования, используя опыт применения этих понятий в квантовой механике, а также опираясь на метод «интегралов по траекториям», автор формулирует основные положения своей концепции. Используются понятия современной квантовой теории: волновая функция, интерференция,

суперпозиция, когеренция, декогеренция, смешанные и перепутанные состояния. Согласно предлагаемой концепции все физические системы используют сразу все свои возможности для движения, возможные в данных граничных условиях. Поскольку все возможности конкретной системы находятся в суперпозиции и являются когерентными, они интерферируют между собой. В результате результирующая возможность обладает максимальной вероятностью и проявляется как действительное движение системы. Все остальные возможности продолжают существовать в возможном модусе, оставаясь не реализованными.

В третьем параграфе **«Объединение частных форм ПНД на основе их вероятностной интерпретации»** диссертант обобщает аргументы в пользу распространения вероятностной интерпретации ПНД с квантового уровня на другие уровни движения физических систем. 1) ПНД и другие экстремальные принципы, напрямую связаны с понятием вероятности и неоднозначной причинности. 2) Существует общая тенденция считать вероятностный подход фундаментальным для описания любых процессов в природе. 3) Связь законов квантовой механики с уравнениями других теорий движения осуществляется посредством ПНД в различных формах, которые можно рассматривать как предельные случаи метода «интегралов по траекториям». 4) Связь между законами симметрии и сохранения, существующая на всех масштабах и сформулированная в теореме Э. Нетер, покоится на ПНД, вытекающем из законов квантовой механики (Р. Фейнман). 5) Все формы ПНД используют понятия «действительное» и «возможное» движение. 6) Философская традиция рассматривает возможное (потенциальное) и действительное (актуальное) как модусы существования систем, независимо от их природы и масштаба. Особенно популярна эта идея в современной философии квантовой механики. 7) Ряд философских теорий описывают вероятностную причинность через возможный и действительный модусы существования. 8) Современные эксперименты показывают, что явления интерференции и декогеренции в состоянии суперпозиции наблюдаются для макрообъектов (Дж. Гринштейн и А. Зайонц). 9) Вероятностная интерпретация ПНД соответствует вероятностной форме представления экстремальных принципов неравновесной термодинамики, теории информации и биологии.

На основании этих аргументов автор предлагает распространить модель «суммирования сосуществующих альтернативных возможностей» на макрообъекты. Описана следующая последовательность такого перехода:

- квантовый размер объекта → макроскопический размер объекта
- квантовое действие → классическое действие
- максимальная вероятность → минимум или максимум одной из функций
- «интегралы по траекториям» → одна из форм ПНД
- «пакет» всех возможных траекторий в суперпозиции → действительная классическая траектория
- возможное существование → действительное существование
- квантовая реальность → классическая реальность

В соответствии с предлагаемой концепцией механизмы декогеренции и интерференции происходят одинаково (хотя наблюдаются по-разному) в квантовом, классическом и релятивистском масштабе. Везде возможные движения переходят в действительные. Действительное движение, в отличие от возможных движений, относительно устойчиво, так как в результате интерференции его характеристики стационарны. В результате создается впечатление, что природа выбирает однозначный классический путь, на самом деле участвуют все возможные пути, а классическая траектория просто наиболее вероятна.

В четвертом параграфе **«Вероятностная интерпретация ПНД и проблемы причинности»** описан способ непротиворечивого совмещения причинного (через действующие причины) и целевого (через конечные причины) объяснения движения систем в ПНД. Опираясь на представления о роли конечных причин в экстремальных принципах (Р. Фейнман, Л.С. Полак, Г.Я. Мякишев, В.А. Ассеев), автор приводит ряд аргументов в пользу гипотезы о равноправии описания движения через действующие и конечные причины. Предлагается решение проблемы соотношения однозначной и вероятностной причинности, особенно в момент перехода с квантового уровня на уровни классический и релятивистский. На основе философской идеи об имманентной активности всех систем природы и гипотезы о связи этой активности с

вероятностными процессами делается вывод о том, что для вероятностной интерпретации ПНД вместо множества причин действующих или конечных, внешних или внутренних достаточно учитывать одну, внутреннюю причину каждой системы, независимо от ее типа.

Для обоснования точки зрения, согласно которой вероятностная причинность является первичной, а однозначная причинность – ее частным случаем для некоторых макроскопических систем, диссертант использует механизм суммирования возможностей путем интерференции, иллюстрирующий процесс перехода от вероятностной причинности к причинности экстремальной, а затем к однозначной действующей причинности. Для этого использованы идеи о связи ПНД и вероятностной причинности, о причинности в квантовой механике, о декогеренции квантовых систем.

Автор диссертации делает несколько выводов. Во-первых, следует различать детерминизм как всеобщий принцип: при одинаковых граничных условиях явления связаны друг с другом определенным, необходимо повторяющимся образом, и детерминизм как модель феноменологического описания связи наблюдаемых явлений в конкретной области природы. Из однозначного принципа – система реализует в действительности движение с максимальной в данных условиях вероятностью (и экстремумом других своих характеристик), не следует однозначность результата – характера действительного движения, поскольку движений, отвечающих такому условию, может быть несколько. Из однозначного принципа – возможные движения (амплитуды вероятности) системы интерферируют по однозначным правилам сложения фаз, не следует однозначность результата интерференции. Принципиально невозможно учесть все возможные движения, участвующие в интерференции и постоянно изменяющиеся под влиянием окружения. Во-вторых, следует различать первичную причинно-следственную связь между «пакетами» возможных движений и вторичную или феноменологическую причинно-следственную связь между действительными движениями, в том числе связь, наблюдаемую конкретным «наблюдателем».

В пятом параграфе **«Критический анализ вероятностной интерпретации ПНД»** перечисляются критерии сравнения конкурирующих теорий. Приводятся тринадцать основных возражений против вероятностной

интерпретации ПНД и ответы диссертанта на эти возражения. Перечислены возникшие в ходе исследования трудности, а также нерешенные проблемы.

В **Заключении** подводятся итоги и формулируются основные выводы диссертационной работы. Перечисляются теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Описываются возможные перспективы вероятностной интерпретацией ПНД в философии физики, в философии сложных саморазвивающихся систем и в биологии, в философии и методологии науки, в философии в целом.

**Основные результаты работы.** Выявлены общие свойства и роль экстремальных принципов в развитии науки XIX – XX веков. Сформулированы и классифицированы философские и методологические проблемы экстремальных принципов в основных областях естествознания. Двадцать таких принципов приведены к общей модельной схеме. Исследовано место ПНД в системе физических законов и связи между его частными формами в разных разделах физики. Сформулирована гипотеза, согласно которой уникальная роль ПНД в естествознании связана не только с его эвристическими свойствами, но и с его онтологическим содержанием. ПНД можно рассматривать как физическую модель философской идеи перехода возможного существования в наблюдаемую действительность. Для этого достаточно возможные или виртуальные движения физических объектов рассматривать не просто как математическую абстракцию или удобную модель, а как движения «в возможности», имеющие определенную степень существования вне обычного пространства-времени. На основе механизма суммирования и отбора возможных альтернативных траекторий на квантовом уровне в действительные классические траектории и релятивистские мировые линии обоснована обобщенная вероятностная интерпретация ПНД. Показано, что вариационные принципы классической и релятивистской механики являются частными случаями законов квантовой механики, а их физический смысл может быть объяснен с помощью метода «интегралов по траекториям» Р. Фейнмана. Изложена концепция «суммирования сосуществующих возможностей», в соответствии с которой все возможные альтернативные движения физической системы сосуществуют в суперпозиции. В результате сложения одно из движений становится результирующим, и его вероятность всегда максимальна.

Результирующее движение системы становится действительным, и может быть наблюдаемо. Для различных типов систем максимум вероятности проявляется через минимумы или максимумы одной из характеристик системы, что выражается в частных формах ПНД. На основе указанной концепции дано рациональное решение проблем целевой и вероятностной причинности в ПНД.

### **Основные положения диссертации отражены в публикациях**

В научных изданиях из Перечня ВАК Минобразования и науки РФ:

1. Терехович В. Э. Интерференция возможностей или как «интегралы по траекториям» объясняют вероятностную причинность // *Философия науки*. – Т. 52. №2. – 2012. – С. 108–120.

2. Терехович В. Э. Действующие и целевые причины в принципе наименьшего действия // *Вестник ЛГУ им. А. С. Пушкина*. – 2012. – Т. 2. № 3. – С. 49–59.

3. Терехович В. Э. Философские и научные проблемы принципа наименьшего действия // *Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики*. – 2013. – №1-1. – С. 179–183.

4. Терехович В. Э. Вероятностный и геометрический языки физики в контексте принципа наименьшего действия // *Философия науки*. – №1. – 2013. – С. 80–92. Preprint: Probabilistic and Geometric Languages in the Context of the Principle of Least Action. – Cornell University Library [Электронный ресурс] URL: <http://arxiv.org/abs/1210.1176> (дата обращения 20.05.2013).

Другие публикации:

5. Терехович В. Э. Объединение вероятностного и геометрического языков описания природы (принцип наименьшего действия, «интегралы по траекториям» и переход бытия из возможного в действительное) // *Онтологические исследования-I. Материалы межд. конференции «Онтологические исследования в современной России» (СПб, 19.11.2010)*. – СПбНИУ ИТМО. – 2011.

6. Терехович В.Э. Обобщение экстремальных принципов физики // *Альманах современной науки и образования*. – 2012. – №11. – С. 184–192.