

Что такое теория в физике

Рыжков Г. М., Нижний Новгород

genmih.ryzhkov@yandex.ru

Аннотация

В статье предлагается структурный анализ физической теории, основанный на разделении трёх её компонентов: экспериментальных фактов, аксиоматики и логико-математического развёртывания аксиом. Показано, что смешение функций этих компонентов — источник многих методологических ошибок, от отождествления теоретических объектов с физическими сущностями до объявления сил инерции «фиктивными». На примере механики Ньютона демонстрируется, как восстановление его исходной аксиоматики — включение материи, заполняющей пространство, как аксиомы — возвращает силам инерции статус фундаментального взаимодействия и снимает ряд ложных проблем. Обсуждается статус аксиом в физических теориях: аксиомы принимаются как исходные допущения, и их соответствие реальности проверяется не логикой, а предсказательной силой теории.

Ключевые слова: физическая теория, аксиоматика, экспериментальный факт, силы инерции, материя как среда, механика Ньютона, методология физики, структура теории, фундаментальные взаимодействия.

1. Постановка задачи: зачем нужна эта статья

Цель настоящей работы — прояснить, что представляет собой физическая теория как интеллектуальный и методологический инструмент, и строго отделить теоретические объекты от объектов реального мира. Эта задача не является чисто академической: устойчивая путаница между ними регулярно приводит к искажению смысла физических утверждений и к ошибочным выводам о природе явлений.

Поводом к написанию статьи послужили неоднократно встречающиеся утверждения авторитетных авторов, в которых элементы теории (силовые линии, волновые функции, поля) отождествляются с физическими объектами или трактуются как непосредственно наблюдаемые сущности. Такое смешение понятий не только размывает границы применимости теории, но и порождает ложные дилеммы: например, вопрос «реальна ли волновая функция?» подменяет более корректный и содержательный вопрос: «какую роль играет понятие волновой функции в структуре теории и как оно связано с наблюдаемыми величинами?»

Исторический пример с силовыми линиями наглядно демонстрирует эту проблему. М. Фарадей рассматривал силовые линии электрического поля как реально существующие структуры в пространстве. Последующие авторы трактовали те же самые линии уже как теоретические представления, то есть удобный инструмент, позволяющий предсказывать распределение поля в системе зарядов по их плотности и конфигурации. С физической точки зрения обе позиции отражают разные уровни интерпретации одного и того же теоретического объекта: в первом случае он наделяется статусом реального предмета, во втором — статусом вспомогательной конструкции. При этом полезность понятия не зависит от такой трактовки: плотность силовых линий действительно позволяет вычислять напряжённость поля, а значит, конструкция работает как элемент теории.

Аналогичная ситуация сложилась и вокруг волновой функции. Сегодня её обсуждают практически повсеместно, но нередко смешивают три разных аспекта: математический объект в уравнениях, инструмент для расчёта вероятностей и гипотетическую «реальную волну» в пространстве как некую субстанцию, как раз и представляющую собой, например, электрон. Между тем, в структуре теории волновая функция — это прежде всего математическое представление состояния, по которому вычисляются наблюдаемые величины. Её «реальность» в смысле принадлежности к набору материальных предметов не требуется для работоспособности теории: достаточно того, что она даёт проверяемые предсказания.

Особенно ярко последствия такого смешивания элементов теории и объектов природы проявляются в трактовке так называемого «коллапса волновой функции». Проблема коллапса по сути формулируется как вопрос о превращении субстанционального «клубка вероятностей» в реальный объект при измерении. Поэтому и попытки ответить на вопрос строятся в рамках того же предположения о сути волновой функции: она не только адекватно описывает нечто реально существующее, но и якобы сама является объектом природы. В таких предположениях её «схлопывание» естественно требуется каким-то образом объяснить динамически. Однако сама постановка проблемы возникла именно из-за придания теоретическому элементу статуса реального объекта. Если же рассматривать волновую функцию как элемент формальной теории, предназначенной для вычисления вероятностей исходов измерений, то «коллапс», о котором идет речь, представляет собой обновление информации о состоянии системы в соответствии с результатом наблюдения, а не физическое событие как таковое, происходящее в реальности.

Возникновение таких вопросов требует строгого разграничения: теория — это не сами объекты природы, а система утверждений, аксиом и правил, позволяющая описывать и предсказывать их поведение. Теоретические объекты (силовые линии, волновые функции, поля) — это элементы этой системы, а не прямые аналоги наблюдаемых сущностей. Их «реальность» имеет иной смысл: она определяется внутренней непротиворечивостью теории и её способностью давать проверяемые предсказания, а не принадлежностью к набору материальных предметов.

В рамках данной статьи последовательно проводится именно эта линия: любой теоретический объект должен быть отнесён к одному из трёх типов элементов теории — либо к аксиомам, либо к следствиям из аксиом, либо экспериментальным фактам, которые сопоставляются с предсказаниями. Такое разделение позволяет избежать подмены понятий и чётко фиксировать, где заканчивается теория и начинается интерпретация её связи с реальностью.

Далее сначала формулируются базовые методологические положения, затем на примерах показывается, как выбор аксиоматики определяет трактовку ключевых понятий и, наконец, демонстрируется, как однозначное «развёртывание» аксиом в конкретные логические утверждения вскрывает неочевидные следствия из принятых аксиом, не меняя при этом статуса теоретических объектов.

2. Структура теории и статус ее элементов.

Физическая теория не является монолитным описанием реальности; она имеет чёткую внутреннюю структуру, состоящую из трёх принципиально разных по статусу компонентов: экспериментальных фактов (результаты измерений), аксиоматики (включая мировоззренческие установки о природе явлений) и условно «тела теории» — логического и математического развёртывания аксиом в проверяемые утверждения и предсказания. Каждый из этих компонентов обладает собственной природой и собственным статусом, и смешение их функций — источник многих методологических ошибок.

Экспериментальные факты — это зафиксированные результаты измерений: значения величин, соотношения между ними, воспроизводимые зависимости. Их ключевая особенность — полное безразличие к интерпретации: на измеренных числах не «написана» причина их появления. Один и тот же набор данных может быть пояснён разными теоретическими схемами, а значит, сами по себе факты не определяют теорию. Роль фактов — служить точкой соприкосновения теории с реальностью: именно с ними

сопоставляются предсказания теории, и именно несовпадение предсказаний теории с фактами сигнализирует о необходимости пересмотра аксиоматики. К экспериментальным фактам предъявляются требования воспроизводимости и однозначной фиксации: поскольку факты служат внешней проверкой, они должны быть описаны так, чтобы любое расхождение с предсказаниями теории однозначно сигнализировало о необходимости пересмотра аксиоматики или аппарата.

Аксиоматика включает как строго формальные допущения (например, «скорость света постоянна», «момент импульса сохраняется»), так и мировоззренческие установки, задающие общий взгляд на устройство природы (например, представление о существовании среды, в которой распространяются взаимодействия, или об отсутствии такой среды). Особенность аксиоматики — её предположительный характер: любая аксиома, даже опирающаяся на весь массив накопленных знаний, остаётся допущением, степень соответствия реальности которого проверяется не логикой, а способностью теории давать верные предсказания. При этом аксиомы не выводятся из фактов и не доказываются внутри теории — они принимаются как привнесённые извне исходные положения, из которых теория строится [7]. Их предположительный характер — не временная трудность, которую можно преодолеть, а структурное свойство теории: любое доказательство опирается на исходные положения, и эти положения не могут быть обоснованы средствами самой теории. Именно поэтому формула «аксиомы принимаем на веру» методологически пуста: она не фиксирует ни статуса аксиом, ни способа их проверки, ни границ применимости. Напротив, признание аксиом исходными допущениями требует чёткого их перечисления, обоснования выбора и постоянной проверки выводов с экспериментальными фактами. Эта структурная особенность аксиом — невозможность обоснования исходных допущений средствами самой теории — перекликается, в методологическом смысле, с теоремами Гёделя о неполноте: в любой достаточно богатой формальной системе существуют утверждения, недоказуемые средствами самой системы [9].

«Тело» теории — это развёртывание аксиоматики средствами логики и математики: вывод уравнений, соотношений, следствий, правил сопоставления теоретических величин с измеряемыми. К развёртыванию аксиоматики, по сути, к разработке теории - предъявляются жёсткие требования полной логической и математической корректности: недопустимы логические и математические ошибки, которые как правило приводят к противоречиям. Любое следствие должно быть строгим

выводом из аксиом; появление противоречий указывает либо на ошибку вывода, либо на дефект исходных допущений.

Любое утверждение, входящее в «тело» теории, должно быть однозначным следствием аксиом при корректном применении формального аппарата. Именно в этом смысле «развёртывание» не создаёт нового содержания, а делает явным то, что уже заложено в аксиомах; ценность и полезность применения логики и математики заключается в выявлении не очевидных следствий, которые без формализации остались бы скрытыми. При этом любое из утверждений теории, вытекающее из принятых аксиом, соответствует природе в той же степени, в которой ей соответствуют принятые аксиомы: речь может идти лишь о степени соответствия полученных утверждений наблюдаемым фактам, но не об «истинности» принятых аксиом. Если некое утверждение не является аксиомой и не выводится логически из аксиом, оно не может считаться частью «тела» теории – это либо ошибка, либо новое предположение, независимое от уже принятых, но не объявленное явным должным образом.

Попытка приписать одному компоненту теории функции другого (например, трактовать аксиому как следствие фактов или считать результаты развёртывания «независимыми законами»), а также ввести в теорию элемент, не укладывающийся в одну из трёх категорий, неизбежно ведёт к размыванию границ теории и появлению ложных проблем типа поиска «доказательства» аксиомы или трактовки формального правила как нового независимого закона.

Важный вывод из этой структуры состоит в следующем. Сопоставление выводов теории с экспериментальными фактами, которые «поясняет» эта теория, может обнаружить либо соответствие теории и эксперимента, либо не соответствие. Из приведенной структуры теории и статуса каждого элемента теории следует, что несоответствие может возникнуть только по одной причине – неадекватности предположений-аксиом, лежащих в основе разработанной теории, тому классу взаимодействий, для которых приняты эти аксиомы. Других источников несоответствия – просто нет. Иначе говоря, если в разработанной теории нет логических и математических ошибок в процедурах развёртывания аксиом и при этом выводы теории как следствия принятых аксиом не соответствуют экспериментальным фактам, то единственным способом «улучшения» теории является изменение принятых аксиом и разработка теории заново, на основе новых аксиом-предположений. Это один из главных выводов проведенного анализа.

Далее изложенную структурную схему будем использовать как инструмент анализа. Покажем, как выбор аксиоматики (в том числе разные представления о среде) определяет трактовку ключевых понятий и приводит к разным теориям с одинаковой экспериментальной базой, и как корректное развёртывание аксиом позволяет выявлять неочевидные, но строго обоснованные следствия — например, условия устойчивого вращения или особенности интерпретации волновых функций и сил инерции.

3. Применение методологической схемы на примере аксиоматики Ньютона

Описанная структурная схема позволяет строго распределить элементы ньютоновской механики по трём категориям. Экспериментальные факты — наблюдаемые зависимости: тела падают, планеты движутся по орбитам, а ускорение пропорционально приложенной силе. Эти факты не «говорят», почему так происходит; они лишь фиксируют воспроизводимые соотношения. Аксиоматика — исходные допущения, в том числе мировоззренческие: существование абсолютного пространства и времени, принцип инерции, закон равенства действия и противодействия. Сюда же относится и установка «гипотез не измышляю»: не вводить в аксиоматику механизмы, не подтверждённые опытом. «Телом» теории является развёртывание аксиом в уравнения движения, адаптация уравнений для отдельных классов движения, вывод следствий (например, что орбита под действием центральной силы имеет вид конического сечения).

Особого внимания требует соотношение между экспериментально устанавливаемыми закономерностями и аксиоматическими допущениями. Количественные соотношения — в частности, второй закон, связывающий силу, массу и ускорение, — устанавливаются экспериментально. Ньютон не только сформулировал этот закон, но и описал процедуру его экспериментальной проверки: в Поучении к Определениям он указывает, что по натяжению верёвки, соединяющей два вращающихся шара, можно измерить силу и вычислить количество кругового движения [1]. В современной лабораторной форме эта процедура сводится к измерению сил инерции на вращающейся платформе с помощью динамометра при варьировании массы, радиуса и угловой скорости, что позволяет установить зависимость $F \sim m \cdot \omega^2 \cdot r$, то есть $F = ma$. Из этого же эксперимента разворачивается вся метрологическая база механики: устанавливается связь между единицами измерений массы, длины, интервалов времени и силы — килограмм, метр, секунда, единица силы. Существенно, что установленная зависимость инвариантна относительно выбора единиц измерения: замена метрической

линейки дюймовой, изменение темпа хода часов, замена пружины динамометра — ни одно из этих изменений не меняет характера связи между силой, массой и ускорением. Меняются числовые значения, но не соотношение. Именно эта инвариантность и делает результат экспериментальным фактом в строгом смысле: он не зависит ни от интерпретации, ни от выбора измерительного инструментария. Однако интерпретация этих соотношений, то есть ответ на вопрос о природе инерции — является ли она свойством изолированного тела или свойством взаимодействия тела и материи, в которой тело движется, — не выводится из эксперимента. Это аксиоматическое допущение, проверяемое лишь через совокупность следствий теории.

Именно в этом контексте следует понимать позицию Ньютона, изложенную им в письме к Бентли (1693) [2] в ответ на обвинения в том что Ньютон якобы выбросил материю из пространства и сделал силы взаимодействия дальнодействующими:

Непостижимо, чтобы неодушевлённая грубая материя могла без посредства чего-либо нематериального действовать и влиять на другую материю без взаимного соприкосновения... Предполагать, что тяготение является существенным, неразрывным и врождённым свойством материи, так что тело может действовать на другое на любом расстоянии в пустом пространстве, без посредства чего-либо передавая действие и силу, — это, по-моему, такой абсурд, который немислим ни для кого, умеющего достаточно разбираться в философских предметах. Тяготение должно вызываться агентом, постоянно действующим по определённым законам...

С точки зрения развиваемой методологической схемы, Ньютон здесь очертил границу аксиоматики: он не отрицал факт тяготения (это экспериментальный факт), не отказывался от его математического описания (это «тело» теории), но сознательно не делал механизм тяготения частью аксиоматики — потому что нет экспериментальных оснований. Ньютон говорит здесь именно о материальном агенте, посредством которого грубая материя может действовать и влиять на другую материю без взаимного соприкосновения. Но его «агент» — это не аксиома, а открытая проблема, которую он оставляет философам. Тем самым он демонстрирует ту самую методологическую чистоту, о которой говорилось в Разделе 1: не смешивать проверяемые следствия с гипотетическими объяснениями.

Это именно та материя, которая в Определении III «Начал» заполняет пространство [1]. Искажение этой позиции Ньютона в дальнейшем состояло в том, что из осторожного

«не знаю, материален ли агент» сделали «Ньютон верил в божественное тяготение» — и тем самым превратили его последовательную методологическую позицию в мистику.

Ньютон не противопоставлял инерцию и тяготение — но и не отождествлял их. Это разные процессы взаимодействия вещества с материей, заполняющей пространство, и их единство у Ньютона не в физическом тождестве, а в методологическом требовании: любое взаимодействие осуществляется через среду. Инерция — это сопротивление материи, заполняющей всё пространство, изменению состояния движущегося в ней тела. Тяготение — это воздействие материи на тело, изменяющее его движение. Различие между ними в изложении Ньютона — не в принципиальной природе (в обоих случаях посредником выступает материя), а в уровне доступных экспериментальных данных. Для инерции количественные закономерности были установлены опытом, и Определение III вводит соответствующее предположение как рабочую аксиому, опирающуюся на факты. Для тяготения количественный закон также был известен, но о природе посредника не было никаких экспериментальных данных — и Ньютон честно отказался вводить гипотезу о механизме, ограничившись констатацией его необходимости. Тем самым он не «отверг одно врождённое свойство – тяготение, и принял другое – инерцию» — он последовательно проводил один и тот же принцип: всякое взаимодействие требует среды, но механизм взаимодействия вводится в теорию только тогда, когда для этого есть экспериментальные основания. Попытки же отождествить силы инерции и силы тяготения — свести одно к другому — выходят за рамки ньютоновской аксиоматики: это разные взаимодействия, а их единство лежит не в физическом тождестве, а в общем посреднике — материи, заполняющей пространство.

После Ньютона программа исследования среды-посредника не была продолжена. Эфир искали как вещество с привычными свойствами весомых частиц, а не как то, что Ньютон имел в виду под «материей». Не найдя такого эфира, объявили, что среды нет — и тем самым окончательно изъяли из аксиоматики элемент, который Ньютон считал необходимым. Вопрос о природе материи, заполняющей пространство, по существу остался открытым [5, 6]. Между тем изъятие среды из аксиоматики привело к каскаду следствий, которые будут рассмотрены далее.

4. Однозначность дедуктивного развёртывания теории

Физическая теория обладает одной существенной чертой: при фиксированном наборе аксиом и корректном применении математического аппарата развёртывание теории

однозначно, то есть оно даёт набор следствий, однозначно соответствующих принятым аксиомам. Каждое следующее утверждение строго следует из предыдущих и в конечном счёте является следствием принятых исходных аксиом. Это не означает, что теория описывает мир абсолютно точно, — это означает, что внутри самой теории нет свободы выбора: при данных аксиомах и данных правилах вывода результат определён.

Появление в теории утверждения, не являющегося ни аксиомой, ни однозначным следствием из аксиом, сигнализирует о дефекте разработки теории. Либо допущена ошибка в выводе, либо в теорию негласно введено новое предположение — скрытая аксиома, не объявленная явно. В обоих случаях теоретическая конструкция требует исправления.

Примером скрытого допущения, изменившего восприятие всей теории, может служить исключение среды из аксиоматики механики Ньютона. Если Ньютон допускал существование материи, заполняющей пространство, как аксиому (см. Определение III сил инерции [1]), то последующая традиция удалила материю — и это привело к каскаду следствий. Оказалось необходимым объявить силы инерции «фиктивными» на основе приемлемого понимания силы как обязательного феномена взаимодействия чего-то с чем-то, объявить первый закон движения как частный случай второго закона, настаивать на отождествлении понятий «тело» и «материя», явно использованных Ньютоном в Определении III — «тело» — это ведь тоже «материя»! Все эти следствия — не результаты эксперимента, а результаты интерпретационного выбора, сделанного после Ньютона.

Однозначность развёртывания теории — это простое логическое свойство: из данного набора аксиом при безошибочном применении правил вывода следует единственный результат. Это свойство не требует дополнительного обоснования — оно вытекает из самого определения дедуктивной системы. Если два исследователя, исходя из одних и тех же аксиом и применяя одни и те же правила, получают разные результаты, значит, по крайней мере один из них допустил ошибку.

5. Факт и интерпретация

Экспериментальный факт в физике — это результат измерения, выраженный в числах. Он не содержит теоретической интерпретации: измерено ускорение тела — но что является его причиной, факт не говорит. Интерпретация — прерогатива теории. Один и тот же факт может быть пояснён разными теоретическими схемами, и эксперимент сам по себе не осуществляет выбор между ними.

Это не означает, что эксперимент не играет роли. Он служит внешним критерием: теория, предсказания которой расходятся с экспериментом, отвергается или модифицируется. Но теория, предсказания которой согласуются с экспериментом, не становится от этого «доказанной» — она становится подтверждённой. Равноценная по способности предсказывать результаты измерений альтернативная теория, также хорошо согласующаяся с экспериментом, не устраняется автоматически. Выбор между теориями, одинаково согласующимися с фактами, — это вопрос полноты, непротиворечивости и охвата всего комплекса изучаемых взаимодействий, а не вопрос экспериментальных данных [8].

Силы инерции — классический пример расхождения факта и интерпретации. Факт: при ускорении тела возникает сопротивление изменению движения, измеряемое произведением массы на ускорение. Интерпретация: в аксиоматике со средой это сопротивление — реальное взаимодействие движущегося тела с материей; в аксиоматике без среды — это «фиктивная» поправка, связанная с движением системы отсчёта. Факт один, а интерпретаций — две, и выбор между ними — не экспериментальный, а теоретико-методологический. Отметим, что отнесение сил инерции к «фиктивным» не является общим местом всей физической традиции: в советской механической школе (Стрелков, Хайкин, Сивухин) силы инерции рассматривались как реальные силы, возникающие в неинерциальных системах отсчёта, и термин «фиктивные» в учебной литературе не использовался. Термин «фиктивные силы» пришёл из англоязычной традиции и утвердился в отечественной литературе сравнительно недавно.

6. Проблема объяснения явлений без указания механизма

Объявление сил инерции «фиктивными» принято обосновывать тем, что для них нельзя указать источник — конкретное тело, взаимодействие с которым порождает силу. Этот аргумент имеет давнюю историю: сам Ньютон считал дальнодействие недопустимым и полагал, что за ним должен стоять некий механизм, обусловленный свойствами среды. Однако невозможность указать механизм не тождественна отсутствию взаимодействия. Гравитация на протяжении двух столетий описывалась без механизма, и её реальность не оспаривалась. Электрические силы в классической электродинамике описывались через поле, но механизм передачи взаимодействия через поле не был объяснён — он был постулирован. Различие между «признанным взаимодействием без механизма» и «фиктивной силой без источника» — не физическое, а интерпретационное.

Один из аргументов против реальности сил инерции был сформулирован А. Ю. Ишлинским [4]: невозможно указать реального тела, которое является источником сил инерции. Л. И. Седов [3] возражал: силы инерции могут компенсировать гравитационные силы, реальность которых признают все; невозможно компенсировать реальную силу фиктивной силой. Эта дискуссия, развернувшаяся на Всесоюзной конференции 1985 года в Институте проблем механики АН СССР, не была разрешена — она была оставлена как разногласие интерпретаций. При этом очевидно, что требование Ишлинского указать «конкретное тело» основано на аксиоматике, в которой есть только тела, а среда отсутствует. Седов опирался на устоявшееся понимание сил инерции как внутреннего свойства массы тела. Трактровка сил инерции как взаимодействие между материей пространства и движущимся телом, данная в оригинальном тексте Ньютона, не была замечена ни одной из сторон.

С точки зрения методологии, развиваемой в настоящей статье, дискуссия Седова и Ишлинского получает чёткое разрешение. Если существование среды принимается как аксиома, то источник сил инерции указан определенно и однозначно: это взаимодействие между материей, заполняющей всё пространство и движущимся в этой материи вещественным телом.

7. Восстановление аксиоматики Ньютона

Восстановление аксиоматики Ньютона требует последовательного различения того, что Ньютон принимал как аксиому, и того, что было добавлено или изъято позднее. Три закона движения и система определений, введённые в «Началах», образуют замкнутую теоретическую конструкцию, в которой каждый элемент имеет однозначный статус [1].

Определение III является центральным ядром всей аксиоматики механики: во-первых, речь идет о силах, которые при любой их природе являются проявлением взаимодействия между чем-то и чем-то. То есть говорить об инерции массы, как о ее способности самостоятельно без взаимодействия с чем-либо оказывать сопротивление любым изменениям ее собственного движения — это противоречит самому определению силы как проявления взаимодействия. Во-вторых, в Определении конкретно указываются объекты взаимодействия: материя, заполняющая все пространство, и движущиеся в материи тела. В-третьих, в этой аксиоме указываются основные свойства этой силы инерции — она всегда пропорциональна массе и проявляется телом единственно лишь, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение его состояния. Из этого

видно отличие силы инерции от «другой» силы обычного взаимодействия между телами. Обычные силы взаимодействия определяются сторонними условиями, они в общем случае не пропорциональны массе тела, к которому приложены, и проявляются не только при ускорении тела, но и в статике. Это говорит о том, что силы инерции имеют совсем иную природу, отличающуюся от сил взаимодействия между телами. Ньютон пишет:

«Врождённая сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено само себе, удерживает своё состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Эта сила всегда пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее. От инерции материи происходит, что всякое тело лишь с трудом выводится из своего состояния покоя или движения. Поэтому «врожденная сила» могла бы быть весьма вразумительно названа «силою инерции». Эта сила проявляется телом единственно лишь, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение его состояния.»

В оригинале использовано выражение «*inertia materiae*» — инерция материи, тогда как в переводе А. Н. Крылова акцент смещён на «инерцию массы». В латинском тексте Определение III озаглавлено «*Vis insita materiae*» — врождённая сила материи; слово «*massa*» (масса) в этом определении встречается лишь во фразе о пропорциональности. Перевод А. Н. Крылова использует «инерцию массы» как единый термин, стирая различие между «*materia*» и «*massa*», которое Ньютон провёл в оригинале. Это различие существенно: материя — это среда, заполняющая пространство; тело — это локализованный объект, движущийся в этой среде. Сила инерции — проявление взаимодействия тела с материей, а не внутреннее свойство тела самого по себе.

Отрицание сил инерции имеет давнюю традицию. Эйлер и Кант, рассматривая инерцию как свойство массы тела и определяя силу как причину изменения состояния движения, пришли к выводу, что «сила инерции», сохраняющая состояние противоречит смыслу определения силы: сила по определению изменяет, а не сохраняет состояние движения [10]. Однако этот вывод основан на прочтении Определения III как описания внутреннего свойства тела, а не взаимодействия тела с материей, заполняющей пространство. В оригинальном тексте Ньютона сила инерции понимается как взаимодействие материи и движущегося тела.

Первый закон фиксирует случай скомпенсированного взаимодействия: тело покоится или движется равномерно и прямолинейно не только потому, что не действуют сторонние силы и якобы какое-либо взаимодействие отсутствует, а потому, что взаимодействие среды и движущегося тела таково, что оно не вызывает изменения его скорости — то есть все силы инерции скомпенсированы и именно это является причиной прямолинейного и равномерного движения тела. Это не «отсутствие сил», а состояние, в котором силы уравновешены. В Определении III явно говорится, что прямолинейное и равномерное движение тела в отсутствии сторонних сил связано с действием сил инерции.

Второй закон описывает взаимодействие тела с материей, в которой это тело движется. Под действием сторонней силы тело ускоряется, его центр масс смещается в пространстве. Что происходит при этом с материей — применимы ли к ней понятия массы — неизвестно. Но законы взаимодействия тела и материи существенно отличаются от законов взаимодействия тел между собой.

Третий закон — равенство сил при взаимодействии тел между собой (в схолии к третьему закону Ньютон иллюстрирует его на примере машин: силы обратно пропорциональны скоростям, так что их произведения равны — что в современном языке соответствует равенству мощностей) — замыкает систему. Третий закон утверждает симметрию взаимодействия между телами: два тела обмениваются импульсом, но центр масс системы этих тел не смещается. Это взаимодействие принципиально отличается от взаимодействия тела с материей, описываемого вторым законом, когда сторонняя сила вызывает смещение центра масс тела в пространстве — тело движется. Законы этих двух типов взаимодействия существенно различны, и попытка переноса симметрии третьего закона на взаимодействие тела со средой неправилен.

Таким образом, аксиоматика Ньютона в её восстановленном виде содержит: первый закон фиксирует состояние скомпенсированного взаимодействия тела со средой; второй закон описывает взаимодействие тела с материей, оно асимметричное, с перемещением центра масс; закон исключает симметрию взаимодействия между телом и материей; третий закон устанавливает симметрию взаимодействия между телами. Среда — материя, заполняющая пространство — является аксиомой ньютоновской системы. Изъятие среды из аксиоматики превращает силу инерции в необъяснимый феномен, а первый закон — в частный случай второго. Восстановление среды возвращает всем элементам теории их исходный статус.

8. Фундаментальный статус сил инерции

Восстановление аксиоматики Ньютона в её исходном виде позволяет говорить о статусе сил инерции. Если сила инерции — проявление взаимодействия тела с материей, заполняющей пространство, то мы немедленно сталкиваемся с границей, дальше которой дедуктивное развёртывание не может пройти в связи с тем, что мы пока не можем предполагать каких-либо свойств этой материи.

Неразложимость на более простые понятия.

Мы не можем описать механизм возникновения сил инерции в терминах более простых сущностей. Мы не знаем, что такое материя — среда, заполняющая пространство, — в тех же категориях, в которых описываем вещество. Мы не знаем, что именно в нуклоне взаимодействует с этой материей. Мы не знаем, каков канал передачи взаимодействия. Мы не можем даже точно сказать, между чем и чем это взаимодействие происходит — потому что не располагаем определением ни одной из сторон в более определённых терминах.

Поэтому можно говорить, что сила инерции фундаментальна, в том же смысле, в котором фундаментальны ядерные, электромагнитные и гравитационные силы, время, пространство, электрический заряд, масса. Мы принимаем существование этих сил взаимодействия и самих объектов взаимодействий как аксиомы, потому что более глубокого объяснения у нас нет. Мы не объясняем, «почему» существует электрический заряд; мы не объясняем, «почему» существует время. Точно так же мы не можем пояснить суть известных фундаментальных взаимодействий, в том числе между материей и движущимся телом — суть явления инерции. Мы фиксируем силы как данность, измеряем их и строим на этом физические теории. Важнейшим компонентом этих теорий оказываются аксиомы, всё остальное содержимое теории — следствия.

Физические признаки фундаментальности.

Поведение сил инерции подобно остальным фундаментальным силам: они действуют всегда, при любом движении тела; они проявляются только при ускорении — то есть имеют чёткий, однозначный критерий обнаружения; они не экранируются — никакой материал, никакая преграда не блокирует их действие; их величина пропорциональна массе только как количеству вещества и она не зависит от иных свойств тел; силы воспроизводимы и количественно измеряются.

Этот набор признаков идентичен тому, что мы видим у ядерных, электрических и гравитационных сил. При этом ядерные и электрические силы признаны

фундаментальными без вопросов; гравитационные — с оговоркой, что механизм не описан, но статус не оспаривается. Силы инерции — единственные, чей фундаментальный статус оспаривается, и единственная причина этого — отсутствие среды в принятой аксиоматике. А причиной отсутствия обсуждаемой среды-материи в теории является интерпретационный выбор, сделанный после Ньютона, а не эксперимент, не наблюдение, и не логика.

Следствие для классификации взаимодействий.

Если принять фундаментальный статус сил инерции, возникает единая картина: известных фундаментальных взаимодействий не три или четыре, а на одно больше. Сила инерции стоит в одном ряду с гравитацией, электромагнетизмом и ядерными силами, уже не как «фиктивная поправка к системе отсчёта», а как полноценная сила, возникающая при взаимодействии материи с движущимися телами, имеющая строгие условия их проявления (изменение движения) и измеряемую величину. Механизм взаимодействия — то есть способ, которым тело и материя воздействуют друг на друга — неизвестен; неизвестно даже, применимо ли к этому взаимодействию понятие «носителя», используемое в обменных моделях других сил. Различие между силой инерции и остальными фундаментальными взаимодействиями в том, что источник остальных взаимодействий описывается в вещественных категориях, а источник силы инерции — взаимодействие между материей, заполняющей пространство, и движущимся телом — в этих категориях не описывается. Материя в аксиомах Ньютона не обладает характеристиками или свойствами вещества.

Но это различие — не основание для лишения силы инерции статуса реального взаимодействия. Скорее, это указание на то, что материя как среда требует собственных определений — не сводимых к вещественным. Это задача следующего этапа развёртывания теории: не отрицать среду, потому что она не описывается привычными понятиями, а выработать для неё адекватный понятийный аппарат.

Таким образом, фундаментальный статус сил инерции — это не декларация, а неизбежное следствие восстановленной аксиоматики Ньютона. Если материя как среда — аксиома, то сила инерции — фундаментальное взаимодействие вещественных тел с этой средой. Если среда из аксиоматики изъята, сила инерции превращается в «фиктивную поправку» — но, как показано в разделах 5 и 6, это не экспериментальный факт, а интерпретационный выбор. Выбор, который можно пересмотреть.

Соотношение предложенного подхода с общей теорией относительности, описывающей инерцию через геометрию пространства-времени, выходит за рамки настоящей статьи.

Заключение

Проведённый анализ позволяет дать определение физической теории, не сводимое к перечню её элементов, а вытекающее из её структуры и требований к ней.

Физическая теория — это система предположений об устройстве мира, оформленная в последовательное и непротиворечивое изложение взаимодействий.

Это определение содержит три существенных признака. Первый: теория начинается с предположений. Аксиомы не доказываются — они принимаются как исходные допущения, степень соответствия которых реальности проверяется через предсказательную силу теории. Это не недостаток, а структурное свойство, перекликающееся с теоремами Гёделя [9]: никакая достаточно богатая система не может обосновать свои исходные положения изнутри.

Второй: элементы теории оформлены в систему. Это означает, что каждое утверждение теории имеет однозначный статус, это либо аксиома, либо следствие аксиом, либо факт, а развёртывание аксиом подчинено строгим правилам логики и математики. При фиксированном наборе аксиом и корректном применении аппарата теории допускает единственный вариант развёртывания. Появление необоснованной вариативности — признак дефекта: либо ошибка вывода, либо скрытое неявное предположение, не входящее в исходную аксиоматику.

Третий: предмет теории — изучение взаимодействий между объектами мира. Теория описывает не «явления сами по себе», а взаимодействия между сущностями — телами, полями, средой. Экспериментальные факты служат внешним критерием: они проверяют следствия теории, но не доказывают её аксиоматику. Одни и те же факты могут согласоваться с разными теоретическими схемами; выбор между ними — не вопрос эксперимента, а вопрос полноты и непротиворечивости всей совокупности предсказаний [8].

Применение этой методологии к механике Ньютона показало, что искажение аксиоматики путём изъятия среды как элемента теории привело к каскаду ложных проблем: «фиктивности» сил инерции, сведения первого закона к частному случаю второго, утрате различия «тело» и «материя». Восстановление исходной аксиоматики не

требует новых гипотез — оно требует возвращения к тексту «Начал» и последовательного проведения его логики.

Это не означает, что восстановленная аксиоматика Ньютона — окончательная истина. Это означает, что она — непротиворечивая теоретическая система, которая должна оцениваться на общих основаниях: по полноте описания взаимодействий, непротиворечивости следствий и согласованности с экспериментальными фактами. Как и любая теория, она не доказывает собственные аксиомы — она раскрывает их следствия и проверяет их реальностью.

Аксиоматика Ньютона непротиворечива, но не полна: утверждение о существовании материи, заполняющей пространство, не доказывается изнутри самой теории — оно принимается как аксиома. Его подтверждение — не логическое, а экспериментальное: все следствия механики Ньютона, построенной на этой аксиоме, согласуются с опытом.

Литература

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Пер. с лат. А. Н. Крылова. — М.: Наука, 1989.
2. Ньютон И. Письма к Бентли. — 1692–1693.
3. Седов Л. И. О возможных и невозможных состояниях в механике сплошных сред // Всесоюзная конференция по силам инерции. — М.: ИПМ АН СССР, 1985.
4. Ишлинский А. Ю. О силах инерции // Всесоюзная конференция по силам инерции. — М.: ИПМ АН СССР, 1985.
5. Бурланков Д. Е. Анализ общей теории относительности. — Н. Новгород: ННГУ, 2011.
6. Бурланков Д. Е. Время, пространство, тяготение. — М.; Ижевск: РХД, 2006.
7. Bunge M. Treatise on Basic Philosophy, vol. 7: Philosophy of Science and Technology. — Dordrecht: Reidel, 1985.
8. Lakatos I. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes // Criticism and the Growth of Knowledge. — Cambridge University Press, 1970.
9. Gödel K. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme // Monatshefte für Mathematik und Physik, 1931, Bd. 38, S. 173–198.
10. Гёрг Э. Инерция и пространство: Кант и Эйлер // Кантовский сборник. 2022. Т. 41, № 2. С. 7–41.