

## Критерии косвенной наблюдаемости и существования ненаблюдаемых объектов физической теории

*Чернакова М.С., ИФ РАН*

**Аннотация:** В работе рассмотрены критерии, позволяющие установить факт косвенной наблюдаемости и реального существования ненаблюдаемых объектов физической теории. Отдельно рассматриваются экспериментальные и теоретические критерии. Показано, что универсальным критерием существования и косвенной наблюдаемости ненаблюдаемых объектов является фиксирование их в нескольких принципиально различных экспериментах. Теоретические критерии также могут позволить установить факт реального существования ненаблюдаемых объектов. Таким критерием является вхождение понятия о ненаблюдаемом объекте в несколько теоретических схем.

**Ключевые слова:** ненаблюдаемые объекты, критерии наблюдаемости, критерии существования.

---

### 1. Ненаблюдаемые объекты физической теории

Физику, как и любую науку, традиционно принято делить на экспериментальную и теоретическую. Экспериментальная наука, исследуя доступную эксперименту (то есть наблюдаемую) действительность, собирает научные факты. Теоретическая физика формулирует математические закономерности, которым подчиняются физические величины, характеризующие наблюдаемые факты. Тем самым теоретическая физика представляет (описывает) множество различных экспериментальных фактов с помощью всего лишь одного математического уравнения. Однако теоретическая наука на этом не останавливается, ибо её задачей является не только описание, но и объяснение наблюдаемых фактов. Объяснение же наблюдаемых явлений неизбежно приводит к *ненаблюдаемым объектам и явлениям*, лежащим в основе и порождающим наблюдаемые. Ненаблюдаемые объекты теории можно определить как объекты, которые даже опосредованно не наблюдаются в эксперименте. Их существование в физической реальности не доказано экспериментально. Они просто постулируются теорией. В рамках физической теории они связаны с наблюдаемыми объектами математическими соотношениями. В процессе развития экспериментальной науки ненаблюдаемые объекты становятся новыми наблюдаемыми объектами. Это, в свою

очередь, служит толчком для развития теории – она постулирует новые ненаблюдаемые объекты для объяснения новых наблюдаемых. В прошлом физика оперировала такими ненаблюдаемыми, как теплород, флогистон, эфир. Атомы также были ненаблюдаемы до недавнего времени. Теплород – сверхтонкая невидимая материальная субстанция – использовался для объяснения тепловых явлений. Флогистон, аналогичный теплороду, позволял объяснить наблюдаемые процессы горения тел. Эфир был необходим для объяснения процесса распространения электромагнитных волн. Ненаблюдаемыми, которыми оперируют современные физические теории являются, например: гравитационные волны и гравитон (квант гравитационных волн), бозон Хиггса, суперсимметричные частицы, одномерные струны в теории суперструн, свободные кварки, искривлённое пространство и время (в эксперименте не измерялась непосредственно кривизна пространства-времени), дополнительные размерности пространства-времени в некоторых расширениях стандартной модели, Большой Взрыв и ранняя Вселенная.

## **2. Экспериментальные критерии существования ненаблюдаемых объектов**

Граница между ненаблюдаемыми и наблюдаемыми объектами довольно условна. Со временем ненаблюдаемые объекты физических теорий постепенно переходят в разряд наблюдаемых. Однако большинство ненаблюдаемых объектов современных теорий, по-видимому, даже в будущем не смогут стать наблюдаемыми непосредственно. Наблюдаться они смогут лишь опосредованно, в косвенных экспериментах. А значит, возникает вопрос: что является критерием косвенной наблюдаемости объекта? Если мы не можем увидеть этот объект непосредственно, то что означает «опосредованное наблюдение»? Каковы критерии того, что ранее ненаблюдаемый объект теперь может считаться наблюдаемым? Ведь в косвенном эксперименте фиксируются лишь отдельные характеристики ненаблюдаемого объекта, при этом сам объект, во всей своей целостности, оказывается недоступным эксперименту. Можно ли на основании лишь отдельных характеристик объекта составить достаточно определённое представление о нём? А также как можно установить факт реального существования ненаблюдаемого объекта, постулированного в теории?

Критерии, позволяющие установить наблюдаемость ранее ненаблюдаемого объекта, в то же время устанавливают и факт его реального существования в физическом мире. То есть наблюдаемость чего-либо автоматически означает его существование. Просто потому, что несуществующие объекты по определению не

могут как-либо наблюдаться. Обратное не верно: не все существующие в физической реальности объекты могут нами наблюдаться.

Для объектов, наблюдать которые возможно лишь опосредованно, понятия «наблюдаемость» и «существование» можно считать тождественными. Для объектов же, которые могут наблюдаться непосредственно, это не так. Пронаблюдать такой объект означает получить о нём более детальную (и часто даже избыточную для построения теории) информацию по сравнению с той, которая необходима для установления факта его существования. То есть непосредственное наблюдение всегда даёт избыточную информацию об объекте. В классической физике, которая имела дело с непосредственно наблюдаемыми объектами, важным было суметь абстрагироваться от избыточной информации, получаемой из наблюдения. Это привело к построению таких идеализаций, как идеальный газ, абсолютно твёрдое тело, материальная точка и др. Когда же речь идёт о ненаблюдаемых непосредственно объектах, то информации, получаемой о них косвенным путём, настолько мало, что понятия «наблюдаемость» (опосредованная) и «существование» для них оказываются совпадающими.

Рассмотрим, какие косвенные наблюдения проявлений ненаблюдаемого объекта могут позволить считать его существующим/наблюдаемым.

### *2.1 Измеримость как критерий существования ненаблюдаемого объекта*

Советский физик и философ науки С.В. Илларионов связывает наблюдаемость с *измеримостью*. Он пишет [4]: «Когда в физике говорят о наблюдаемых величинах, имеют в виду не только объект, наблюдаемый непосредственно, но и объект, который, несмотря на непосредственную ненаблюдаемость, все же поддается измерению. Наблюдаемость, таким образом, — это измеримость». Здесь, конечно же, речь идёт о косвенной, опосредованной наблюдаемости. Таким образом, согласно С.В. Илларионову, если мы можем экспериментально измерить какие-либо характеристики объекта, то мы можем сказать, что пронаблюдали этот объект.

Недостаток такого подхода состоит в том, что само измерение также в данном случае является косвенным. И вопрос о том, что является достаточным критерием для констатации факта косвенной наблюдаемости переносится на процедуру косвенного измерения. То есть встаёт всё тот же вопрос: что является достаточным критерием того, что мы измерили некую величину?

Например, можем ли мы сказать, что измерили плотность тёмной энергии — гипотетической субстанции, ответственной за недавно открытое ускоренное

расширение Вселенной? На основании наблюдения за поведением галактик мы можем вычислить, какую плотность должна иметь тёмная энергия, чтобы вызвать такое их поведение [1]. Тем не менее, само понятие «тёмная энергия» является весьма условным и просто обозначает нечто, вызывающее ускоренное разбегание галактик. Точно неизвестно даже, как связано наблюдаемое разбегание галактик с плотностью тёмной энергии. То есть сама формула, связывающая эти две величины, определена не однозначно. От того, какой из формул мы пользуемся, мы получим то или иное значения плотности тёмной энергии. Более того, не исключено, что тёмная энергия не является субстанцией в традиционном понимании и ей тогда вообще нельзя приписать такую характеристику, как плотность.

Даже само ускоренное разбегание галактик измерено косвенным путём – на основании наблюдаемых смещений спектральных линий в излучении сверхновых типа Ia [1]. И хотя подавляющая часть учёных однозначно связывают это смещение в спектре со скоростью галактик, тем не менее известны и другие объяснения этого смещения. Например, можно предположить, что нетипичное смещение спектральных линий обусловлено тем, что сверхновые не являются стандартными свечами, то есть их наблюдаемая яркость убывает с расстоянием по закону, отличному от закона обратного квадрата расстояния. Однако предположение об ускоренном расширении Вселенной, помимо смещения спектральных линий, нашло себе и другие косвенные экспериментальные подтверждения: измерения микроволнового реликтового излучения и гравитационного линзирования, данные о первичном нуклеосинтезе оказались хорошо согласующимися с ускоренным расширением Вселенной в современную эпоху. Это позволяет говорить об ускоренном расширении как о косвенно наблюдаемом явлении, а о его скорости и ускорении – как об измеренных величинах. Однако тёмная материя не может считаться наблюдаемой, а потому ей невозможно однозначно приписать те или иные конкретные величины её характеристик. То есть последние нельзя считать измеренными.

Таким образом, апелляция к измеримости не решает проблему косвенной наблюдаемости, а лишь превращает её в проблему косвенной измеримости.

Отметим, что существуют даже примеры того, когда возможность однозначно приписать значение какой-либо характеристики ненаблюдаемому объекту ещё не означает его реального существования. Так, в теории элементарных частиц однозначно вычисляется масса свободного кварка (она отлична от массы кварка в составе адрона), тем не менее свободный кварк не может существовать в реальности [3]. Теория

относительности однозначно предсказывает величину спина гравитона, однако гравитон пока не является даже косвенно наблюдаемым объектом, факт его реального существования весьма спорен. Эфиру в 19 веке приписывали определённые значения плотности, упругости и других характеристик. Однако эфир оказался несуществующим в реальности.

## *2.2 Аргументы экспериментального реализма*

Канадский философ Я. Хакинг, представитель экспериментального реализма в философии науки, выдвигает два аргумента, которые способны служить критерием существования ненаблюдаемых объектов: аргумент независимой наблюдаемости и манипулятивный аргумент [8]. Эти аргументы апеллируют к экспериментальной практике учёных-физиков и формулируются как критерии, позволяющие отделить реальные объекты от порождённых экспериментальным прибором артефактов. Хотя в аргументах Я. Хакинга речь ведётся о критериях реального существования и несуществования экспериментально зафиксированных объектов, независимо от наличия или отсутствия таких объектов в физической теории, те же самые рассуждения применимы и для установления существования постулируемых теорией ненаблюдаемых объектов. Отличие лишь в том, что в последнем случае несуществующие в реальности «артефакты» порождаются (или впервые обнаруживаются) не экспериментом, а теорией.

Рассмотрим каждый из аргументов Я. Хакинга:

1) *Аргумент независимой наблюдаемости* основывается на независимом различении реальных объектов от артефактов при помощи приборов, работающих с использованием разных физических принципов.

Аргумент независимой наблюдаемости выдвигается Я. Хакингом с обращением к теории микроскопов. Наблюдение в микроскоп сейчас уже нельзя считать непосредственным наблюдением. Сложное устройство современных микроскопов всегда оставляет открытым вопрос о том, что же именно наблюдается: реальный объект или порождаемый инструментом артефакт. Суть аргумента такова: если одна и та же картина наблюдается при помощи микроскопов, работающих на совершенно разных физических принципах (например, трансмиссионного электронного микроскопа и флюоресцентного микроскопа), то эта картина есть реальный объект, а не артефакт.

Одним из главных возражений против признания реальности наблюдаемых при помощи приборов объектов является отсутствие чётких критериев различения продуцируемого работой прибора и существующего независимо от прибора явления. Так, исторически неспособность длительное время устранить явления абберации при наблюдении в микроскоп (даже в простейший световой) приводила к невозможности чёткого различения реальных явлений и артефактов в процессе наблюдения.

Однако современной науке известно достаточно большое число микроскопов, работающих с использованием совершенно различных физических процессов. Именно благодаря такому пониманию мы можем «видеть» даже в акустический микроскоп. Если, используя принципиально различные микроскопы, мы видим одно и то же явление, то это означает, что данное явление не является артефактом. Сила аргумента независимой наблюдаемости заключается в его апелляции к инвариантности относительно физических механизмов наблюдения. Я. Хакинг пишет [8]: “Очевидно, что все световые микроскопы используют свет, но микроскопы, использующие интерференцию, поляризацию, фазовый контраст, прямую передачу, флюоресценцию и так далее, используют совершенно не связанные между собой свойства света. Если одну и ту же структуру различить с использованием этих различных аспектов световых волн, то нельзя всерьёз предположить, что структура является артефактом всех этих различных физических систем”.

Таким образом, ненаблюдаемый объект можно считать существующим лишь после того, как удастся косвенно зафиксировать его проявления несколькими принципиально различными приборами.

Так, косвенное проявление ненаблюдаемого эфира можно было состоять в факте существования электромагнитных волн: их наличие указывало на то, что должна быть материальная среда – эфир, – колебаниями которой они являются. Однако попытки найти какое-либо другое проявление эфира окончилось неудачей. В частности, не удалось зафиксировать эфирный ветер, возникающий при движении Земли относительно эфира. Поэтому эфир так и не получил статус реально существующей среды.

2) *Манипулятивный аргумент* основан на возможности манипулирования с реальным объектом и невозможности какой-либо манипуляции с артефактом.

Согласно этому аргументу, ненаблюдаемый объект теории обозначает нечто реально существующее, если процедура эксперимента предполагает манипуляции с ним. Я. Хакинг выдвинул этот аргумент, основываясь на ряде экспериментов из физики

элементарных частиц, в процессе которых осуществлялись манипуляции с электронами, в частности, на экспериментах с электронной пушкой PEGGY II. Если мы способны каким-либо образом воздействовать на ненаблюдаемый объект, вызвав в результате определённые изменения наблюдаемых объектов, то такой ненаблюдаемый объект следует считать реально существующим.

Из манипулятивного аргумента следует, что реально то, что может оказывать или испытывать воздействие. Поэтому категория «реальность» оказывается у Я. Хакинга непосредственно связана с категорией «причинность» [8]: «Реальность относится к причинности, и наши представления о реальности формируются нашими способностями к изменению мира... Реальным мы можем считать то, с чем мы можем вмешиваться в мир для того, чтобы действовать на что-либо ещё, или то, что мир может использовать, чтобы влиять на нас».

Однако манипулятивный аргумент является слишком сильным критерием существования объектов: существует множество объектов, которыми мы не можем манипулировать, но в реальности которых мы не сомневаемся. Например, мы не можем воздействовать на кварки в структуре адрона, не можем воздействовать на астрономические объекты. Тем не менее в отдельных случаях данный аргумент оказывается полезным для установления факта существования того или иного объекта. Однако значительно чаще мы не можем воздействовать на ненаблюдаемый объект (с тем, чтобы посредством него воздействовать на объект наблюдаемый), мы можем лишь видеть результат воздействия ненаблюдаемого объекта на наблюдаемые.

Отметим, что если непосредственное наблюдение позволяет сразу зафиксировать все основные свойства объекта, то в случае косвенного наблюдения это не так. Косвенное наблюдение, хотя и устанавливает существование объекта, но всё же не раскрывает всех существенных свойств последнего. Я. Хакинг пишет [8]: «Манипуляции с объектами свидетельствуют лишь в пользу того, что объект существует. Так, наши современные теории не раскрывают всех свойств электронов. Процесс развития теорий сопровождается установлением новых характеристик, которыми могут обладать электроны в определённых экспериментальных ситуациях. Таким образом, набор приписываемых теоретическим терминам свойств постоянно уточняется». Как показывает история развития теоретических и экспериментальных представлений об электроне, несмотря на возможность осуществления манипуляций

над ним в каждой из сменяющих друг друга теорий, существенные свойства его постоянно меняются, появляются новые, ранее неизвестные его характеристики.

### **3. Теоретические критерии существования ненаблюдаемых объектов**

Доказав экспериментально факт существования ненаблюдаемого объекта, мы тем самым превращаем его в объект (опосредованно) наблюдаемый. Однако если мы попытаемся доказать факт существования ненаблюдаемого объекта вне даже косвенного эксперимента, то такое доказательство не позволит считать ненаблюдаемый объект наблюдаемым. То есть в данном случае существование объекта уже не тождественно его наблюдаемости.

Развитие теоретической науки всё более опережает экспериментальную и потому всё настойчивее требует нахождения критериев существования того или иного ненаблюдаемого объекта теории ещё до того, как появится возможность его даже косвенного наблюдения или измерения его характеристик. То есть важно иметь критерии для приписывания статуса существования ненаблюдаемым даже в косвенном в эксперименте объектам. Особенность таких критериев в том, что они имеют не экспериментальный, а теоретический и во многом философский, метафизический характер.

Рассмотрим, какие теоретические критерии реального существования ненаблюдаемого объекта предлагаются в философии науки.

#### *3.1 Аргументы реалистов*

Для реалистов указанием на реальное существование ненаблюдаемых теоретических объектов является удивительная эффективность последних в физике. Эта эффективность проявляется в удивительной успешности объяснения наблюдаемых явлений при помощи ненаблюдаемых объектов определённого типа. Реалисты приводят следующие аргументы, которые могут свидетельствовать о существовании ненаблюдаемых объектов [7]:

1) *Аргумент простоты*: объяснение многих явлений оказывается простым и естественным, если принимается реальность объектов определённого типа, и наоборот, отрицание их реальности делает весьма затруднительным объяснение интересующего нас явления. Например, продолжение фотоэлектрического эффекта при отсутствии фотонов оказалось бы чудом. Поскольку постулируемые теорией объекты дают наиболее простое объяснение явлений, мы вынуждены признать их реальность.

Однако, как известно, принцип объяснительной простоты является не надёжным критерием истинности теории: более общая и точная теория часто является сложнее, чем менее общая и потому менее истинная теория. Также и простота объяснения не является надёжным аргументом в пользу существования ненаблюдаемого объекта.

2) *Аргумент упорядочивающей случайности* – связан с возможностью теорий, исходя из единых принципов, объяснять явления, ранее казавшиеся несвязанными, либо, наоборот, используя разные теоретические соображения приходиться к одним и тем же объектам. Так, объяснение А. Эйнштейном броуновского движения как движение ненаблюдаемых в то время молекул позволило вычислить число Авогадро; причём его численное значение совпало с полученными ранее значениями, вычисленными исходя из совершенно иных теоретических соображений. На этом основании реалист делает вывод о реальном существовании молекул. Так, Я. Хакинг пишет об истории доказательства существования молекул [8]: «Эта история заканчивается, по-видимому, полным анализом броуновского движения в терминах молекулярных траекторий. Вся суть не в том, что при этом детально описано столкновение молекул с зёрнами цветочной пыльцы, взвешенными в жидкости, которое и создавало видимый эффект. Настоящим достижением был новый способ определения числа Авогадро с использованием эйнштейновского анализа броуновского движения».

Таким образом, данный аргумент подобен экспериментальному аргументу независимой наблюдаемости. В обоих этих аргументах требуется, чтобы ненаблюдаемый объект проявлялся в нескольких независимых экспериментальных или теоретических системах. Только такой объект можно считать существующим. В приведённом примере доказательства существования молекул теоретические представления о молекулах были использованы в двух принципиально различных теоретических схемах: при выводе наблюдаемых закономерностей броуновского движения и при вычислении числа Авогадро.

### *3.2 Подход конструктивного структурного реализма*

Согласно Т. Цао, представителю конструктивного структурного реализма, вывод о существовании ненаблюдаемых объектов можно сделать, если эти объекты удаётся включить в общую картину структурных характеристик реальности, удаётся теоретически сконструировать и получить косвенные экспериментальные свидетельства в их пользу [9]. При этом проведения экспериментальных манипуляций с ненаблюдаемыми объектами не требуется.

Таким образом, в данной версии реализма критерием референциальности ненаблюдаемых объектов, постулируемых теорией, является теоретическая выводимость из хорошо эмпирически подтверждённых физических законов.

Т. Цао делает свои выводы на основании анализа истории квантовой теории поля и квантовой хромодинамики.

Например, эксперимент не позволяет непосредственно наблюдать свободные кварки и глюоны (из-за существования явления конфаймента кварков). Однако многочисленные эксперименты по рассеянию фотонов на протонах при их бомбардировке электронами позволяют нам сконструировать образуемую точечноподобными частицами с зарядами  $2/3$  и  $-1/3$  внутреннюю структуру протона [3]. То есть интерпретировать характер рассеяния элементарных частиц оказывается естественно с точки зрения кварк-глюонной модели адронов. Согласно Т. Цао, это позволяет нам сделать вывод о существовании внутри протона неких объектов, которые можно назвать «кварк» и «глюон».

О доказательстве таким путём реального существования квантованного поля Т. Цао пишет [9]: «Если мы знаем о том, что в случае квантовой теории поля сущность, описываемая её формализмом есть поле, и если благодаря полевым уравнениям мы знаем реляционные и структурные свойства поля и к тому же имеем точное знание о проявлении поля в различных экспериментальных ситуациях, тогда мы должны признать, что у нас есть объективное знание о поле как о реальности, существующей вовне, независимо от нас».

Аналогичной точки зрения придерживаются философы М. Шлик и Э. Нагель. М. Шлик утверждает, что критерием существования ненаблюдаемого объекта является его теоретическая выводимость из получивших эмпирическое подтверждение физических законов. Э. Нагель пишет [9]: "Термин, обозначающий нечто реальное, должен входить более чем в один экспериментальный закон, при условии, что законы логически независимы друг от друга".

В подходе конструктивного структурного реализма мы видим как бы сочетание экспериментальных и теоретических критериев существования: ненаблюдаемый объект существует, если проявляется в нескольких независимых экспериментальных и/или теоретических системах.

Однако следует отметить, что только проявление ненаблюдаемого объекта в экспериментах может превратить его в косвенно наблюдаемый. Вхождение же понятия ненаблюдаемого объекта в теоретические схемы может свидетельствовать лишь о его

существовании в реальности, но не может сделать чисто теоретический объект наблюдаемым.

Таким образом, наиболее универсальным критерием существования следует признать проявление ненаблюдаемого объекта в нескольких независимых и принципиально различных экспериментальных либо теоретических системах. Объяснить это можно следующим образом. Как и любой физический объект, ненаблюдаемый объект теории имеет набор физических характеристик. Поскольку как в косвенном эксперименте, так и в теоретической схеме фиксируется не весь ненаблюдаемый объект во всей своей целостности, а лишь отдельные его характеристики, то для однозначного определения нескольких характеристик нам требуется несколько независимых экспериментов или теоретических схем.

Отметим, что другие из рассмотренных критериев существования ненаблюдаемых объектов не являются универсальными. Так, реалистический аргумент простоты объяснения может в некоторых случаях выступать дополнительным критерием существования ненаблюдаемого объекта. Манипулятивный аргумент экспериментального реализма может быть реализован лишь в исключительных случаях.

### Литература

1. *Вайнберг С.* Космология. – М.: УРСС, 2013.
2. *Владимиров Ю.С.*, Метафизика. – М.: БИНОМ, 2009.
3. *Емельянов В.М.* Стандартная модель и её расширения. – М.: Физматлит, 2007.
4. *Илларионов С.В.* Теория познания и философия науки. – М.: "Российская политическая энциклопедия" (РОССПЭН), 2007.
5. *Каррелли А., Мёллер К. и др.* Астрофизика, кванты и теория относительности. – М.: Мир, 1982.
6. *Мамчур Е.А.* Проблема выбора теории. (К анализу переходных ситуаций в развитии научного знания). – М., 1975.
7. *Фурсов А.А.* Эволюция научного реализма // Вестник Воронежского университета. Серия: Философия. 2009. № 1, С. 109-129.
8. *Хакинг Я.* Представление и вмешательство. Начальные вопросы философии естественных наук. / Пер. с англ. – М.: Логос, 1998.

- 
9. *Цао Т.Ю.* Структурный реализм и концептуальные вопросы квантовой хромодинамики // Эпистемология и философия науки. 2008. Т. VII, № 3, С. 143-156.
  10. *Чудинов Э.М.* Природа научной истины. – М., 1977.