

О смысле принципа соответствия и единства физики

On the Meaning of the Principle of Correspondence and the Unity of Physics

Francois-Igor PRIS (frigpr@gmail.com)

Резюме

Смысл единства физики в том, что она подчиняется принципу естественного обобщения. В частности, я интерпретирую принцип соответствия в квантовой механике как принцип обобщения.

Abstract

The meaning of the unity of physics is that it is governed by the principle of natural generalization. In particular, I interpret the principle of correspondence in quantum mechanics as the principle of generalization.

0. Взгляды на единство физики

История философии свидетельствует о том, что в философии, также как и в науках имеет место прогресс. В настоящее время многие классические философские проблемы могут быть поняты гораздо лучше или даже частично разрешены в рамках рационалистического натуралистического прагматизма в духе философии позднего Виттгенштайна, который является неметафизической формой реализма. Теоретически рационалистический прагматизм развивается, например, Робертом Брэндомом (см., например, Brandom 2008-2012).

Именно в рамках современного прагматизма идея единства физики может быть понята наиболее глубоко. Игнорирующие прагматику чисто рационалистические и эмпирические подходы, а также позитивизм оказались поверхностными или

ограниченными. В частности, понять «единство науки без метафизики», как это предлагали логические эмпиристы, невозможно.¹) Редукционно-унификационное логико-математическое единство науки, в частности, физики (или даже физической теории), например в смысле Карнапа, не необходимо и не достаточно для подлинного единства.² Достаточно иррационалистический плюрализм Куна и Фейерабенда был противоположной крайностью.

Уже трансцендентальная философия Канта, синтезирующая рационализм и эмпиризм, может считаться нормативным прагматизмом (но не натурализмом). Для Канта „ ist die Allheit (Totalität) nichts anders als die Vielheit als Einheit betrachtet ...“ (единство не что иное как многообразие, рассматриваемое как единство. *Перевод мой*) (Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, В 111) Единство – (априорный) регулятивный принцип разума.

В свою очередь классический американский прагматизм Пёрса, Джэймса, Дивью и других синтезировал эмпиризм и натурализм. Современный прагматизм пытается интегрировать в себя рационализм. По сравнению с Кантом прогресс состоит в усилении прагматической традиции и принятии во внимание и развитие натуралистической традиции.

Понимание мира и действие в нём предполагают использование (естественных) правил/концептов (в случае физического мира такими правилами являются законы физики). Расширение области нашего понимания и действия есть в то же время расширение области применения/правил концептов. В этом и состоит в первом приближении смысл так называемого единства мира.

¹ Не забудем, что школа логического эмпиризма была неоднородна. Например, позиция Отто Нойрата (Otto Neurath) была во многом прагматической и натуралистической. Для Нойрата объединение науки означает, в частности, устранение излишней терминологии и дублирующих теорий, а также противоречий и нестыковок между различными теориями.

² Для Карнапа «science is a unity, that all empirical statements can be expressed in a single language, all states of affairs are of one kind and are known by the same method» (наука едина в том смысле, что все эмпирические утверждения могут быть выражены на одном языке, все фактические состояния дел одного типа и познаются при помощи одного и того же метода. *Перевод мой*) (Carnap 1934, с. 32).

Вопрос о единстве физики может быть поставлен не абстрактно, а исходя из рассмотрения самой физики. Мы так и поступим.

1. О единстве физики и «мостовых принципах»

В каком смысле физика едина и в каком смысле она есть набор несоизмеримых друг с другом теорий и практик? Механика Ньютона может рассматриваться как предельный случай релятивистской механики Эйнштейна; и в этом смысле имеет место единство той и другой. С другой стороны, если механика Ньютона и релятивистская механика рассматриваются как независимые друг от друга практики («языковые игры» или «формы жизни»), они несоизмеримы в смысле Куна. «Несоизмеримость» классической механики и квантовой механики ещё более явственна. Сказанное можно обобщить на всю физику. С одной стороны она едина. С другой стороны она плюралистична, то есть, является набором в известном смысле несоизмеримых друг с другом теорий и практик. Всё же, как мне кажется, интуиция о единстве преобладает.

Бригитта Фалкенбург выделяет, например, следующие основания для утверждения о том, что физика едина: обобщённый Гайзенбергом принцип соответствия Бора; принципы симметрии и соответствующие им законы сохранения; принцип масштабной инвариантности физических теорий (то есть, их независимость от выбора единиц измерения), подразумевающий, по-крайней мере, семантическое единство единиц измерения (времени, длины и массы) для всех масштабов, начиная от субатомного и кончая масштабом вселенной, и другие. (Falkenburg 2007, 2010; гл. 5)

Нарушение единства физики проявляется, например, в том, что, как известно, существует «объяснительный зазор» между квантовой теорией и её конкретным применением, то есть, результатом измерения, который описывается на языке классической физики. Редукция волновой функции не может быть объяснена в рамках квантовой теории, а представляет собой дополнительный постулат. Следствием этого является то, что реальный процесс измерения в квантовой теории поля есть процесс применения разнородных методов, практик и теорий, как классических так и полуклассических и квантовых, а также феноменологических. «Зазор» между квантовым и классическим языками закрывается лишь при взаимодополняющем использовании того и другого.

По-видимому, утверждение Нильса Бора о том, что без языка классической физики нельзя обойтись, можно обобщить. Каждая физическая теория имеет свой собственный «язык», который используется в области применимости теории, но который может быть также в той или иной мере востребован в пограничных областях и даже областях применимости других теорий. Язык классической физики, в частности, классической механики, является в известном смысле привилегированным, так как он тесно связан с обыденным языком и поэтому является тем основанием, на котором строятся другие языки.

Можно привести следующую элементарную геометрическую аналогию. Для покрытия сферы необходимо как минимум две карты. Эти карты несоизмеримы. В общем случае, для описания неевклидова пространства нужно целое множество перекрывающихся друг с другом карт. В области перекрытия несоизмеримые карты «склеиваются» между собой при помощи некоторых отображений (и тем самым «соизмеряются» друг с другом), которые являются, так сказать, «мостами» между картами. Результатом является единое пространство.

«Пространство» всей физики может быть «покрыто» множеством *замкнутых* физических теорий в смысле Вернера Гайзенберга. «Замкнутая теория» – это теория, которая уже получила свою законченную форму в виде установленных и общепринятых постулатов и которая, соответственно, не может быть опровергнута в области своей применимости. Согласно Гайзенбергу замкнутые теории «замкнуты», «совершенны», «неизменны» и отражают «реальность». (По всей видимости, «замкнутая теория» не может не быть *полной теорией* в смысле Нильса Бора). Классическую механику, классическую электродинамику вместе с теорией относительности, термодинамику вместе с статистической физикой и квантовую механику Гайзенберг относил к «замкнутым» теориям. (Подробнее см., например, Camilleri 2009, Vokulich 2004, 2006, 2008).³

Вышеуказанные объединяющие принципы (соответствия, симметрии, масштабной инвариантности и другие) играют роль «мостовых принципов» (bridge principles), которые позволяют связать различные теории между собой, и тем самым установить

³ Одним из первых проанализировал гайзенберговское понятие замкнутой теории Эрхард Шайба (см., например, Scheibe 2001).

единство физики. Плюрализм и единство физики оказываются, таким образом, двумя сторонами одной и той же медали.

Фалкенбург (Falkenburg 2007) подчёркивает, что «мостовые принципы», о которых идёт речь, не следует понимать в смысле терминологии, введённой Эрнестом Нагелем. Для него мостовые принципы позволяют редуцировать описывающий некоторое явление эмпирический язык *sense-data* к соответствующему теоретическому языку. Например, мостовые принципы между термодинамикой и молекулярно-кинетической теорией позволяют редуцировать первую к последней. (В более общем случае можно говорить о редукции одного языка, или одной теории, описывающей некоторое явление, к другому языку, или другой теории, описывающей то же самое явление. Мостовые принципы в этом случае можно понимать как «изоморфизмы» (или «гомоморфизмы») - «мосты» между различными эквивалентными языками описания одной и той же реальности.)

«Мостовые принципы», благодаря которым образуется единство физики являются более сложными. Они устанавливают связи между теориями, относящимися к разным областям познания (например, между механикой Ньютона и релятивистской механикой, описывающей явления, наблюдаемые при очень высоких скоростях или квантовой механикой, описывающей явления микромира⁴). Такие мостовые принципы могут рассматриваться как естественные обобщения мостовых принципов в смысле Нагеля.

В самом общем случае речь может идти о любом преобразовании, в соответствии с любым правилом, которое либо тем или иным образом соединяет между собой онтологически различные теории⁵, либо задаёт переход от одного языка описания к

⁴ Примером связи между классической и квантовой механиками является совпадение (на вероятностном уровне) классической формулы Резерфорда и соответствующей квантовой формулы рассеяния. При рассеянии большого числа частиц, всё происходит так *как если бы* рассеяние было классическим, и, в частности, *как если бы* центр рассеяния был классическим. (См. подробнее Falkenburg 2007, с. 172.)

⁵ Я употребляю здесь термин «онтологический» в смысле хайдеггеровского «онтического», допуская, что последняя онтология *Дазайна* может быть одной и той же для всех физических теорий. Именно к пониманию *Дазайна* я бы применил следующие слова Гайзенберга: “The human capacity to understand is unlimited. Of the ultimate things we cannot speak” (человеческая способность понимать не имеет границ. О последних вещах мы не можем говорить. *Перевод мой*). (Heisenberg 1984) (Утверждение Гайзенберга является на первый взгляд анти-виттгенштайновским (как известно, согласно Виттгенштайну

другому при неизменной онтологии. Такое преобразование (примерами являются преобразование деформации по постоянной Планка⁶ классической механики в квантовую механику и преобразования дуальности в теории струн) есть обобщение классического преобразования симметрии, принадлежащего некоторой группе симметрии (в более сложных случаях – некоторому обобщению группы симметрии, например, алгебре Хопфа или квантовой группе).

2. Принцип соответствия как принцип обобщения

Пытаясь понять новые физические явления, Нильс Бор вынужден был использовать язык классической физики, что с необходимостью вело к формальным противоречиям и некоторой мистике.⁷ Например, для объяснения стабильности атома постулировалось, что движущиеся в атоме с ускорением орбитальные электроны не могут излучать электромагнитные волны и соответственно терять энергию (в противном случае они упали бы на ядро), что противоречило классической электродинамике.⁸ В тех случаях, когда противоречия отсутствовали, когда результаты классической физики совпадали с результатами новой физики, можно было говорить о соответствии между классической физикой и новой физикой, которое являлось отражением определённого единства физики, единства природы. Это единство было, по крайней мере, семантическим, но не было никаких оснований отделять семантику от онтологии и отказываться от определённого онтологического единства. Принцип соответствия Бора был результатом рефлексии этого единства.

Трактатуса «пределы моего языка есть пределы моего мира»): мы способны понять последние вещи, несмотря на то, что не можем выразить наше понимание в словах; мысль не ограничена языком.)

⁶ В отличие от философов физики не боятся употреблять противоречивый язык, например, говорить о деформации теории по параметру, который является постоянной и даже имеет конкретное численное значение – деформации по постоянной Планка.

⁷ Прочитируем в этой связи Макса Планка: “If one does not sometimes think the illogical, one will never discover new ideas in science” (если иногда мы не мыслим нелогически, мы никогда не откроем в науке новых идей. *Перевод мой*) (цитируется в Zeidler 2006, с. 739).

⁸ Напротив, как известно, электроны, движущиеся в синхротроне, излучают энергию в полном соответствии с классической электродинамикой.

Гайзенберг принял принцип соответствия как данное, как руководство к действию. Он понял его как принцип аналогии. Он поставил себе и решил задачу построения новой теории путём обобщения этой аналогии на все физические явления. Другими словами речь шла о естественном обобщении (расширении) классической теории на квантовую область, на область микромира.⁹

Как известно, математики прибегают к методу обобщения систематически. Например, современная некоммутативная геометрия Алэна Конна есть обобщение классической геометрии многообразий. При этом некоммутативная алгебра играет роль некоммутативного пространства. Конн вдохновлялся идеями квантовой матричной механики Гайзенберга, которая стала первым примером некоммутативного пространства.¹⁰

Итак, обобщённый Гайзенбергом принцип соответствия Бора есть принцип естественного обобщения. Последний неотделим от принципа единства и связи (рефлексия над результатом обобщения позволяет установить новые связи и, соответственно, определённое единство). Философская проблема состоит в том, чтобы понять процесс естественного обобщения. На наш взгляд это можно сделать в рамках философии «второго» Виттгенштайна, в частности, в рамках его философии математики (обобщение как процесс естественного расширения области применимости правила, как прагматическая проекция в новый контекст). Мы не будем, однако, здесь аргументировать это утверждение.

Обобщение физической теории в известном смысле сложнее, чем обобщение математической теории, так как в случае физической теории речь идёт не только об обобщении формальном, то есть, обобщении математического аппарата, но также об обобщении смысла физических величин. (В этом смысле семантика физической теории «двухмерна».)

⁹ У Гайзенберга был прагматический девиз: «Der Erfolg heiligt die Mittel» (успех оправдывает средства. *Перевод мой*). (Письмо Гайзенберга Паули от 19 ноября 1921.) (См. Camilleri 2009)

¹⁰ Как отмечается в книге (Camilleri 2009, с. 90) Гайзенберг охарактеризовал в (Born, Heisenberg & Jordan 1967, с. 322) свою матричную механику как переход от «классической визуализируемой геометрии» к «символической квантовой геометрии». Общая теория некоммутативных и квантовых геометрий была развита только в конце 20 начале 21 века.

В случае если обобщение достаточно радикально, следует говорить о революции. Было ли, например, *революцией* или же *преобразованием* классических идей и предшествующей классической механики рождение квантовых идей благодаря новым экспериментальным данным и создание «старой квантовой механики», которая не только имела ограниченную область применимости, но и страдала от концептуальных и теоретических противоречий?

Фотонная гипотеза Эйнштейна, идея корпускулярно-волнового дуализма, боровская идея квантования классических атомных орбит были призваны объяснить новые физические явления, и в то же время они были парадоксальны, противоречили не только классической физике, но даже «здравому смыслу» и классической логике. Эти идеи были революционными, они «опровергали» устоявшиеся представления. Они не могли появиться сразу в законченной непротиворечивой форме. Их парадоксальность была обусловлена именно тем, что необходимая концептуальная база и необходимый математический аппарат для их формулировки отсутствовали. Формулировка новых идей в рамках старых концептуальных схем и старых физико-математических теорий неизбежно была противоречивой.

2.1 Научная революция.

В одном интервью Гайзенберг (Heisenberg 1970) характеризует научные стили своих учителей: Бора, Зоммерфельда, Борна, а также свой собственный стиль. Гайзенберг говорит, что он понимает свою задачу как физика-теоретика в нахождении математической схемы, описывающей физические явления, что предполагает владение соответствующими концептами. Подход Бора он характеризует как подход более философский, как концептуальный анализ (нахождение «концептуальной схемы»). Зоммерфельд, с точки зрения Гайзенберга, был близок к эксперименту; он интересовался не концептами, а конкретными физическими вычислениями, которые с точки зрения строгой теории необязательно были непротиворечивыми (как, например, в «старой квантовой механике»). Борн был математиком; он не понимал, что для корректного математического описания квантовых явлений были необходимы новые концепты.

Можно выделить следующие уровни научного исследования: экспериментальный уровень физических явлений, необязательно окончательно понятых в плане теоретическом или концептуальном (Зоммерфельд), уровень концептуальный (Бор)¹¹, уровень физико-математической теории (Гайзенберг) и уровень чистой математики (Борн).

¹¹ Концептуальными преобразованиями, как правило, дело не ограничивается: концептуальные изменения влекут за собой изменения в физической теории и её математическом представлении. Например, полученная в рамках СТО фундаментальная формула взаимосвязи массы и энергии стала самой известной физической формулой 20 века. Концептуальное объединение пространства и времени привело к физической теории гравитации и дальнейшему развитию тензорного анализа и (псевдо-)римановой геометрии.

Вопрос о том, было ли создание квантовой механики (квантовой теории вообще) «трансформацией» классической механики (знания) или же революцией может, как мне кажется, быть поставлен на каждом из этих четырёх уровней, а также для различных исторических периодов создания квантовой механики.

Научная революция, в отличие от трансформации, является достаточно радикальным обобщением, имеющим свою собственную логику. Можно, например, назвать революцией (но не в математическом или теоретико-математическом плане, а в плане научно-метафизическом) также рождение квантовых идей и создание «старой квантовой механики».

Что касается создания теории относительности, то, как известно, она практически не имела своего собственного эмпирического фундамента (в случае общей теории относительности (ОТО) единственным эмпирическим фундаментом был уже известный в классической физике принцип тождества инертной и гравитационной массы, то есть, так называемый принцип эквивалентности).

Этот «парадокс отсутствующего знания» означает, что создание теории относительности было революцией прежде всего концептуальной. Лишь ретроспективно, то есть, когда мы уже знаем «новые принципы», мы можем понять создание специальной теории относительности (СТО) или ОТО как трансформацию классической физики.

Такая ретроспективная трансформация может выглядеть, например, следующим образом: классическая электродинамика инвариантна относительно группы Лоренца. При этом скорость света в вакууме играет роль фундаментальной физической постоянной. Классическая механика инвариантна относительно группы Галилея. Чтобы совместить электродинамику и механику последнюю нужно преобразовать таким образом, чтобы она тоже стала инвариантной относительно группы Лоренца, содержащей в качестве параметра фундаментальную постоянную – скорость света в вакууме. Это требование – математическое выражение двух принципов СТО Эйнштейна: частного принципа относительности и принципа постоянства скорости света.

В случае ОТО группой симметрии является группа всех гладких координатных преобразований пространства-времени. Выбор этой группы симметрии мотивируется принципом эквивалентности и является математическим выражением общего принципа относительности.

Соответствующий математический аппарат тензорного анализа и римановых пространств существовал до создания теории относительности, но новые представления о пространстве и времени не существовали в готовом виде.

Они были созданы, и их создание нельзя назвать концептуальной трансформацией классических концептов. Даже чисто математические новые концепты не могут быть получены в результате простой трансформации старых концептов. Достаточно вспомнить о том, результатом какого сложного процесса явилось создание неевклидовой геометрии. Этот процесс может быть назван трансформацией евклидовой геометрии лишь ретроспективно.

3. История принципа соответствия

В своей исходной формулировке принцип соответствия Бора относился к частотам излучения атома в результате его переходов из одного энергетического состояния в другое (которые рассматривались как противоречащие классической теории излучения скачкообразные переходы электрона с одной орбиты на другую). Бор установил следующее соответствие между классической и квантовой теориями излучения: в случае длинноволнового излучения, то есть, для высокоэнергетических атомных уровней, классическая теория излучения для движущегося по орбите электрона даёт приблизительно те же результаты, что и квантовая теория.

В 1920 году, формулируя принцип соответствия, Бор говорит о нём как о «рациональном обобщении» классической теории излучения (цитируется в (Falkenburg 2007, с. 189)):

«[. . .] there is found to exist a far-reaching correspondence between the various types of possible transitions between the stationary states on the one hand and the various harmonic components of the motion on the other hand. This correspondence is of such a nature that the present theory of spectra is in a certain sense to be regarded as a rational generalization of the ordinary theory of radiation.» (Bohr 1920)

(Существует далеко идущее соответствие между различными типами переходов между стационарными состояниями с одной стороны и различными гармоническими компонентами движения с другой. Соответствие имеет такую природу, что настоящая теория спектра в некотором смысле должна рассматриваться как рациональное обобщение обычной теории радиации. *Перевод мой*).

Таким образом, на первоначальном этапе, то есть, на этапе построения старой квантовой теории, соответствие между квантовыми и классическими явлениями было обнаружено, а не сознательно использовано при её построении (хотя определённое соответствие, конечно, подразумевалось благодаря использованию языка классической физики).

В своей книге (Falkenburg 2007, с. 189) Фалкенбург пишет, что «рациональное обобщение», или расширение, классической теории имело формальный аспект – численное совпадение результатов, полученных в рамках классической и квантовой теорий - и качественный аспект, позволяющий дать физическую интерпретацию квантовому выражению для кванта энергии как относящемуся к тем же самым физическим величинам (энергии и частоте), что и классическое выражение.

Фалкенбург справедливо замечает, что принцип соответствия Бора не является эмпирическим принципом (Falkenburg 2007, с. 189-190).

Можно согласиться с тем, что принцип соответствия не сводится к мостовому принципу в смысле Нагеля. Я полагаю, однако, что последний есть частный случай первого (см. также выше). Обобщённый принцип Нагеля есть принцип соответствия между двумя языками, описывающими одно и то же явление. В качестве математической аналогии можно взять, например, соответствие между классическим геометрическим представлением многообразия и его (коммутативным) алгебраическим представлением. В рамках приведённой аналогии, принципу соответствия соответствует соответствие между классическим геометрическим пространством и произвольной (некоммутативной) алгеброй.

Как я уже сказал в § 2, Гайзенберг понял эксплицитно принцип соответствия как принцип аналогии (то есть как принцип обобщения). Он отталкивался от уже известного квантового описания явления дисперсии и аналогии между этим описанием и классическим описанием дисперсии. Он обобщил эту аналогию «наиболее простым и наиболее естественным» способом на все механические явления. Так возникла квантовая теория, имеющая новую физическую онтологию: физические величины – операторы, а не числа.¹²

Ключевым словом в заглавии революционной статьи Гайзенберга (Heisenberg 1925) является слово «*Umdeutung*» («интерпретация»). Гайзенберг критикует «формальные правила» старой квантовой механики, которые имеют ограниченную область применимости, не поддаются обобщению и трактуют квантовую механику как отклонение от классической механики. Он предлагает отказаться от ненаблюдаемых величин и ввести новые правила. Он замечает, что, например, условие частот Эйнштейна — Бора имеет совершенно общее значение и представляет собой полный отказ от классической механики. Поэтому, согласно ему, «классическую механику

¹² Об обобщённом принципе соответствия Гайзенберг говорит, например, как о принципе, устанавливающем качественную аналогию между классической и квантовой теориями. Эта аналогия является не только гидом для нахождения формальных законов последней, но также и позволяет их интерпретировать (1930a, с. 78; цитируется в Falkenburg 2007).

безусловно нельзя считать справедливой даже и в простейших квантово-теоретических задачах.» Своей задачей он видит построение квантово-теоретической механики, аналогичной классической механике, но в которую входили бы лишь соотношения между наблюдаемыми величинами. Вместо ненаблюдаемой классической орбиты $x(t)$ Гайзенберг вводит последовательность наблюдаемых квантовых амплитуд. При этом меняется природа самой физической величины, её онтология, которая не может быть понята без новой математики (как известно, в своей статье Гайзенберг не осознаёт, что пользуется матричной алгеброй). Здесь новое концептуальное и теоретическое понимание неотделимо от понимания математического.

Ясно, что речь идёт не о модификации классической механики, а о её замене. Нельзя также говорить о модификации старой квантовой механики, так как она сама в математическом плане есть лишь модификация классической механики.

Замена старых «формальных правил» новыми правилами как раз и означает теоретическую революцию, которая, как известно, может быть понята как переход от коммутативных физических величин к некоммутативным.

В плане теоретическом «старая квантовая механика» описывала «отклонения» от классической механики и поэтому она была именно трансформацией классической гамильтоновой механики: классическая механика продолжала играть роль парадигмы. Переход к новой квантовой механике есть полная замена классической парадигмы. Именно поэтому Гайзенберг нуждается в аналогии при построении новой парадигмы. Аналогия позволяет сохранить лишь исходную формальную структуру, которая играет роль супер-парадигмы.

Юрген Ренн (Renn 2010) объясняет каким образом произошло, что независимо и исходя из разных экспериментальных данных, практически одновременно были созданы две разные по форме, но «эквивалентные» по содержанию теории - теория Гайзенберга и теория Шрёдингера (он называет их «дизиготными близнецами»). Первоначально они были предназначены для описания разных явлений: теория Гайзенберга предназначалась для описания явления дисперсии, а теория Шрёдингера - для описания атома водорода.

Ренн предлагает «генетическую» точку зрения, которая, на мой взгляд, есть анализ конкретного процесса обобщения (сравните также с процессом интеграции нового суждения в кантианское единство апперцепции (см. ниже)).

Согласно Ренну обе теории являются преобразованием общего прародителя – старой квантовой теории. Обе сохраняют формальную структуру гамильтоновой механики (это то, что можно назвать общим для классической и квантовой механик суперправилом), расширяя её лишь в необходимой мере. Обе включают в себя процедуру перевода, связывающую классические и квантовые концепты: Гайзенберг применил процедуру интерпретации, в результате которой канонические переменные получили смысл некоммутирующих матриц. Шрёдингер, в свою очередь, применил оптико-механическую аналогию и ввёл волновую функцию. Обе интегрируют в себя новое знание о связи энергии и частоты.

4. Принцип соответствия и кантовское единство апперцепции

Таким образом, «эвристический принцип соответствия» не является, на мой взгляд, содержательным принципом, дающим конкретные указания как строить новую теорию. Это – принцип обобщения, который, на мой взгляд, может быть также понят как кантовский «принцип» единства апперцепции.

Следуя Роберту Брэндому, я интерпретирую последний в том смысле, что построение новой теории *должно* быть результатом выполнения трёх задач: (1) *критической*, состоящей в устранении противоречий между старым и новым, в том числе путём отказа от некоторых старых положений (в случае, когда речь идёт о переходе к более общей теории, отказ от старых положений является достаточно радикальным), (2) *ампликативной*, состоящей в выводе следствий, (3) *обосновывающей*, состоящей в рациональном обосновании выводимых следствий и всей системы апперцепции. (См., например, Мюнхенские лекции Роберта Брэндона (2011a) или книгу (Brandom 2011).)

У Канта речь идёт об интеграции нового суждения в данное единство апперцепции (применительно к нашему анализу примером такой интеграции является объяснение нового результата в рамках данной (классической или квантовой) теории). Этот процесс может быть обобщён на случай перехода от одного единства апперцепции к другому единству апперцепции (например, от классической теории к квантовой теории), что можно рассматривать как процесс более сложной интеграции – интеграции второго порядка, - в результате которой создаётся единство апперцепции второго порядка, в рамках которого устанавливаются связи между классической и квантовой теориями. Процесс обобщения не может быть чисто интеллектуальным. Расширение единства апперцепции – естественный процесс, который должен иметь рациональное обоснование *пост фактум*.

Натурализованное кантовское единство апперцепции (у Канта единство апперцепции не натурализовано) может быть понято как виттгенштайновское правило. Устоявшаяся («замкнутая», «полная») теория как единство апперцепции - естественное (а не произвольное) правило, отражающее структуру реальности. Классическая теория играет роль установленного естественного правила для исследования классических явлений. Это правило не может быть корректно применено в квантовой области. Оно должно быть корректно обобщено. Решение задачи обобщения классического правила можно понимать как решение виттгенштайновской проблемы следования правилу, роль которого в данном случае играет некоторое суперправило, которому подчиняется само правило классической парадигмы.

5. Может ли нарушаться принцип соответствия?

Итак, принцип соответствия есть принцип обобщения. Всякое обобщение по своему смыслу основывается на уже достигнутом, на уже установленных теориях, а не в отрыве от них. С другой стороны если бы принцип соответствия давал конкретные указания о том, какой должна быть новая теория, действительно новая теория не могла бы быть построена. Принцип соответствия подразумевает, что некоторые элементы старой теории нужно сохранить, но он не говорит какие именно элементы.

Как и при всяком нетривиальном обобщении более общая система содержит элементы, не имеющие аналогов в обобщаемой системе. Не все квантовые концепты или явления имеют классические аналоги. Сам характер аналогии также не предопределён.

Сказать, что принцип соответствия утверждает допустимость, по-крайней мере, частичной интерпретации квантовых явлений в классических терминах (или наоборот), опять же не означает дать конкретные указания о том, о каких именно явлениях идёт речь.

Можно вообразить, что существуют природные явления, законы которых не просто отличны от законов известной нам физики, но вообще не имеют с ними ничего общего. В этом случае мы не имели бы никакого теоретического доступа к этим явлениям. Нам потребовалось бы развивать совершенно независимую от нашего предыдущего знания науку. Но даже в этом случае мы опирались бы на что-то установленное в науке вообще и на наше знание обыденного мира. Поэтому даже в этом случае, в конце-концов, вопрос о соответствии был бы поставлен. И он мог бы быть решён только как вопрос об обобщении, или, эквивалентный ему вопрос о связи и единстве.

6. Принцип соответствия как семантический принцип непрерывности.

Все физические величины могут быть измерены в единицах длины, времени и массы, которые могут варьироваться от нуля до бесконечности и имеют один и тот же смысл для всех масштабов, хотя для разных масштабов теории и процедуры измерения могут быть очень различными. Согласно Фалкенбург это обеспечивает семантическое единство физики, которое строится в классических терминах.

Фалкенбург трактует принцип соответствия как *семантический принцип непрерывности*. (Falkenburg 2007, 2010, с. 191.) Он необходим, но не достаточен для установления *семантического единства физики*. Для того, чтобы определить понятия времени, длины и массы для всех масштабов, нужны дополнительные принципы. (Falkenburg 2007, с. 194-195) К таким принципам Фалкенбург относит теорему Эренфеста, эргодическую гипотезу, законы симметрии и сохранения, правила суперселекции, размерную инвариантность, декогерентность. (Ни один из этих дополнительных принципов не говорит что-либо о существовании референта.)

Сама Фалкенбург отмечает, что указанные объединяющие принципы работают только совместно с принципом соответствия. Поэтому, как мне кажется, они не являются независимыми априорными принципами, применяемыми для установления единства физики, а скорее *проявлениями* её единства, проявлениями обобщённого принципа соответствия, который является наиболее фундаментальным принципом.

Возьмём, например, принцип симметрии. Может ли он играть определяющую роль при построении новой теории? Калибровочная теория поля, например, строится как теория, имеющая группу локальных калибровочных симметрий. С другой стороны существуют также неклассические симметрии и принцип спонтанного нарушения симметрии. Если же принцип симметрии понимать в самом широком смысле, то он не будет независимым принципом, а будет совпадать с принципом соответствия.¹³

¹³ Подобно «принципу соответствия» другие «эвристические» принципы, такие, например, как принцип красоты или принцип простоты, не имеют позитивного содержания. Также как *соответствие* (*похожесть или аналогия*), *простота* и *красота* означают корректность, то есть, наличие имплицитного правила или правильное следование правилу. (Моя точка зрения не противоречит точке зрения Дирака (Dirac 1939), который считал, что принцип простоты нетривиален и должен быть преобразован в принцип красоты.) Подобным же образом можно трактовать и принцип единства.

На мой взгляд полное обобщение физической теории, подразумевающее обобщение её физического смысла и проверку на эксперименте, является обобщением не только семантическим, но и онтологическим (в том смысле, что речь идёт об *одних и тех же* (но зависящих от контекста) реально существующих референтах). Семантическая непрерывность, прежде всего означающая, что речь идёт об *одних и тех же* концептах, есть также непрерывность онтологическая.¹⁴ Принцип соответствия устанавливает не только теоретическое, но и практическое виттгенштайновское «семейное» сходство, а, значит, и онтологическое единство в рамках более глубокого – квантового - реализма.

Согласно Фалкенбург “the correspondence principle prevents classical realism from breaking down at once in the quantum domain” (принцип соответствия предохраняет классический реализм от быстрого разрушения при переходе в квантовую область. *Перевод мой*) (Falkenburg 2007, 2010, с. 193). В своей книге она показывает каким образом классическая *реалистическая картина* нарушается всё в большей и большей степени при переходе к физике всё более высоких энергий (всё более малых расстояний).

В каком смысле можно говорить, например, о распределении электрического заряда внутри атома? С классической точки зрения это распределение «реально». С квантовой точки зрения можно говорить лишь о волновой функции, описывающей это распределение. Распределение заряда является, таким образом, контр-фактуальным: если бы измерение было произведено в такой-то и такой-то точке, получили бы такое-то и такое-то значение плотности заряда. Взаимодействие с зарядом электрона можно описывать *как если бы*, его распределение было реальным в смысле классического реализма. Это реальность потенци, а не актуальности. В том случае, когда речь идёт о протонах внутри ядра, классическая реалистическая картина распределения заряда оказывается ещё более нарушенной. Положение протона определяется как положение, которое коррелирует с положением электрона. Положение электрона в свою очередь определяется в результате ионизации атома. Кварки в свободном

¹⁴ Согласно Фалкенбург смысл квантовых физических концептов может быть разложен на три составляющие: формально-аксиоматический смысл, определяемый квантовыми аксиомами (имплицитно); операционный смысл, определяемый операционными аксиомами, которые укоренены в практике измерения, и которые могут опираться на гетерогенные классические, полуклассические, квантовые и феноменологические теории, и референционный смысл, приобретаемый благодаря принципу соответствия. Если бы принцип соответствия не принимался во внимание, операционный и аксиоматический смыслы могли бы рассматриваться лишь как смыслы формальные. Чисто операционное соответствие между классической и квантовой теорией является лишь численным соответствием.

состоянии вообще не существуют. В то же время они асимптотически свободны. Поэтому определение их положения является ещё более «искусственным.» Всё же во всех случаях можно говорить о некоторой реальности распределения заряда, хотя эта «реальность» понимается по-разному. (Falkenburg 2007, с. 193)

Обобщённый принцип соответствия позволяет считать, что объекты, которые соответствуют физическим величинам, одни и те же для всех масштабов. Фалкенбург говорит о *неклассическом имплицитном реализме* (Falkenburg 2007, с. 194).

7. Заключение

Итак, так называемый принцип соответствия в квантовой физике должен быть понят как принцип обобщения. Оба принципа эквивалентны принципу единства и связи (или принципу редукции в широком смысле слова (см., например, Scheibe 1997, 1999)). Это не означает, однако, что физика и природа едины в некотором абсолютном смысле. Скорее наоборот. Можно предположить, что в природе существуют непреодолимые разрывы, которые могут проявляться и проявляются в физических теориях. Быть может, невозможность полной редукции классической механики к механике квантовой как раз и есть проявление некоторого непреодолимого разрыва между макроскопическим миром и миром микроскопическим. Принцип соответствия не утверждает, что такого рода разрывы не существуют. Он скорее нацелен на выявление связей и, соответственно, разрывов там, где они имеют место. В этом смысле физика и природа и едины и плюралистичны. В то же время какие-то минимальные связи всегда существуют между разными областями реальности и, соответственно, разными физическими теориями (хотя бы потому, что они разделяют общую физикалистскую онтологию). В этом минимальном смысле физика и природа не могут не быть едиными.

Литература

Bohr, N. 1920. „Über die Serienspektren der Elemente“, *Z. Physik* **2**, 423–469. Engl. transl. in: Bohr (1922)

Bohr, N. 1922. *The Theory of Spectra and Atomic Constitution*. Cambridge UP

Brandon, R. 2008. *Between Saying and Doing*. Oxford UP.

Brandon, R. 2009. *Reason in Philosophy. Animating Ideas*. Harvard UP

Brandon, R. 2011a. Brandon's München Lectures (May 2011)

- Brandom, R. 2011. *Perspectives on Pragmatism*. Harvard UP
- Brandom, R. 2012. Brandom's lecture at the Cambridge University on 31 May 2012
- Bokulich, Alisa, 2004. "Open or Closed? Dirac, Heisenberg, and the Relation between Classical and Quantum Mechanics." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. 35 (3).
- Bokulich, Alisa, 2006. „Heisenberg Meets Kuhn: Closed Theories and Paradigms". *Philosophy of Science*, Vol. 73, No. 1 (January 2006), p. 9.
- Bokulich, Alisa, 2008. *Re-Examining the Quantum-Classical Relation: Beyond Reductionism and Pluralism*. Cambridge UP.
- Camilleri, K. 2009. *Heisenberg and the interpretation of quantum mechanics*. CUP.
- Carnap, R. 1934. *The Unity of Science*. London: Kegan Paul, Trench, Trubner, and Co.
- Dirac, P. A. M. 1939. "The Relation Between Mathematics And Physics" Communicated to the Royal Society of Edinburg, February 6, 1939. In (Dirac, P.A.M. 1995. *Collected Works*. 1924-1948. Edited by R.H. Dalitz, p. 907)
- Falkenburg, B. 2007. *Particle Metaphysics*. Springer.
- Heisenberg, W. 1924. "Über eine Abänderung der formalin Regeln der Quantentheorie beim Problem der anomalen Zeeman-Effekte". *Z. Phys.* **26**: 291–307.
- Heisenberg, W. 1925. "[Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen](#)". *Zeitschrift für Physik* **33**: 879–893.
- Heisenberg, W. 1927. "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik". *Z. Physik* **43**, 172–198
- Heisenberg, Werner. 1970. *Interview with Werner Heisenberg by Joan Bromberg*. June 16, 1970.
- Heisenberg, W. (1930a): *Physikalische Prinzipien der Quantentheorie*, Hirzel, Leipzig. Repr.: Bibliographisches Institut, Mannheim (1958)
- Heisenberg, W. 1930b. *Physical Principles of Quantum Theory*, transl. by C. Eckart and F.C. Hoyt, University of Chicago Press, Chicago
- Heisenberg, 1960. "Sprache and Wirklichkeit in der modernen Physik"
- Heisenberg, W. 1967. *Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen*, Hirzel, Stuttgart

Heisenberg, W. 1969. *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, Piper, München. Repr. in: Heisenberg (1985) pp. 3–334

Heisenberg, W. 1971. „Der Begriff der kleinsten Teilchen in der Entwicklung der Naturwissenschaft“. In: *Meyers Enzyklopädisches Lexikon*, Vol. 2, Bibliographisches Institut, Mannheim, pp. 870–879. Repr. in: Heisenberg (1985) pp. 395–404.

Heisenberg, W. 1976. „Was ist ein Elementarteilchen? Die Naturwissenschaften“ **63**, 1–7. Repr. in: Heisenberg (1985) pp. 507–513

Heisenberg, W. 1985. *Collected Works*, Part C III, ed. by W. Blum, H.-P. Dürr and H. Rechenberg, Piper, München, Zürich

Heisenberg, Werner. 1970. *Interview with Werner Heisenberg by Joan Bromberg*. June 16, 1970.

Joas, C., Lehner, C. 2009. „The classical roots of wave mechanics: Schroedinger’s transformations of the optical-mechanical analogy.” *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. 40, p. 338-351

Renn, Jürgen. 2010. Доклад, сделанный на конференции HQ-3 (Берлин).

Scheibe, E. 1997. *Die Reduktion physikalischer Theorien*. Teil I. Springer.

Scheibe, E. 1999. *Die Reduktion physikalischer Theorien*. Teil II. Springer.