

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт философии и права
Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи



Безлепкин Евгений Алексеевич

ФИЛОСОФСКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ
ТЕНДЕНЦИИ ОБЪЕДИНЕНИЯ В ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

09.00.08 – Философия науки и техники

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата философских наук

Научный руководитель
доктор философских наук
Сторожук Анна Юрьевна

Новосибирск – 2016

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1 УНИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ КАК ПРИНЦИП ФИЗИЧЕСКОГО ПОЗНАНИЯ.....	14
1.1 Понятие единства знания в истории философии.....	14
1.2 Понятие принципа в методологии науки и физике	27
1.3 Взаимосвязь принципов физического познания.....	34
1.4 АСПЕКТЫ ПРИНЦИПА УНИФИКАЦИИ ЗНАНИЯ.....	41
1.4.1 Структура принципа.....	42
1.4.2 Функции принципа.....	59
1.4.3 Аксиологическая роль принципа	68
1.5 Выводы по главе	72
ГЛАВА 2 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИНЦИПА УНИФИКАЦИИ В ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЯХ	77
2.1 КЛАССИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ.....	77
2.1.1 Классическая механика.....	77
2.1.2 Аналитическая механика	83
2.1.3 Классическая электродинамика	90
2.2 ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.....	96
2.2.1 Специальная теория относительности	96
2.2.2 Общая теория относительности	103
2.3 КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА	109
3.1 Интерпретации квантовой механики.....	117
2.4 КВАНТОВЫЕ ТЕОРИИ ПОЛЯ, ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ ОБЪЕДИНЕНИЯ.....	122
2.4.1 Квантовая электродинамика.....	122
2.4.2 Электрослабое взаимодействие	128
2.5 ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ ОБЪЕДИНЕНИЯ. ТЕОРИИ ВЕЛИКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ.....	129
2.6 ОБОБЩЕНИЕ ИСТОРИЧЕСКОГО ОБЗОРА	137
ГЛАВА 3 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА УНИФИКАЦИИ В НАУЧНОМ ПОЗНАНИИ	141
3.1 АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЭВОЛЮЦИИ ФИЗИКИ	142
3.2 АНАЛИЗ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ ОБЪЕДИНЕНИЯ.....	155
3.3 ЭВОЛЮЦИЯ ОСНОВНЫХ КАТЕГОРИЙ ФИЗИКИ.....	170
3.4 ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ КАРТИН МИРА.....	183
3.5 Выводы по главе	197
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	200
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	205
СПИСОК ТАБЛИЦ.....	224
СПИСОК РИСУНКОВ	225

Введение

Актуальность темы исследования

Примеры унификации физических теорий можно найти в истории физики, начиная с электродинамики Максвелла (объединение описания оптических, электрических и магнитных явлений) и заканчивая гипотетическими теориями всех взаимодействий (теорией суперструн, теорией петлевой квантовой гравитации и другими). Построение объединенной теории фундаментальных взаимодействий было осознано в качестве одной из центральных проблем теоретической физики в середине XX века¹. На сегодняшний день ученые смогли объединить три из четырех известных взаимодействий, однако не в полной мере.

С точки зрения философии науки в основе тенденции к унификации знания лежат следующие представления:

- следовать единой системе методологических и физических принципов;
- подобрать «единую» математическую структуру для описания мира (наподобие формализма Лагранжа–Гамильтона, групп Ли);
- найти единую сущность для описания мира (например: энергия, микроскопические струны, пространственно–временные волокна),
- реализовать цель метафизики – создать единую онтологическую модель реальности.

Ученые отмечают ряд трудностей в построении единой теории (краткий обзор можно найти, например, в работе М. Хеллера²). Помимо затруднений физико-математического характера существуют концептуальные (философские) затруднения. В их числе можно отметить следующие: существование множества интерпретаций квантовой механики, статус принципа причинности на микроуровне, статус

¹ см. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1967. Т.1. С. 38, Компанеев А. С. Может ли окончиться физическая наука. М.: Знание, 1967. С. 6., Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века?

² Heller M. Fundamental Problems in the Unification of Physics // Found Phys. 2011. № 41. PP. 906–908.

пространства-времени в теориях релятивистской и квантовой физики, проблема времени в квантовой физике и другие.

Программа создания объединенной теории состоит из двух частей:

- 1) объединение известных фундаментальных взаимодействий;
- 2) объединение концепций релятивистской и квантовой физики.

Проблема первой – физической – части программы заключается в невозможности современными средствами экспериментально проверить гипотетические теории объединения. На сегодняшний день первая часть программы реализована частично: экспериментально подтверждена теория для двух из четырех видов взаимодействий (электрослабая теория); теории, объединяющие большее число взаимодействий, не построены окончательно (стандартная модель).

Проблема второй – философской – части программы заключается в несогласованности понимания гравитационного взаимодействия. Релятивистские теории понимают пространство-время динамически; квантовые теории рассматривают пространство–время как фиксированный фон, на котором взаимодействуют частицы-переносчики взаимодействия. Большинство исследователей считают, что успешное согласование этих концепций приведет к фундаментальному изменению взглядов на природу пространства-времени.

Поскольку философская проблема работы состоит в несогласованности философских оснований квантовых и релятивистских теорий, основная цель заключается в том, чтобы выявить способы функционирования и реализации принципа унификации физических теорий с методологической, онтологической, эпистемологической и аксиологической точек зрения. Решение проблемы позволит наметить контуры для подтверждения или опровержения возможности согласования концептуальных оснований теорий, лежащих в основе будущей единой теорий, а также поможет выявить проблемные моменты, затрудняющие теоретические построения. Проблемы объединения физических теорий, на наш взгляд, корнями уходят в несогласованность их философских оснований и имеют концептуальный, а не физический характер.

Актуальность исследования также обусловлена тем, что философская рефлексия не поспевает за развитием теоретического знания, поскольку наиболее плодотворные попытки построить теории объединения достаточно новы (теория струн и теория

петлевой квантовой гравитации появились и развиваются с 1980-х). Это справедливо как для концептуального анализа, задачей которого является экспликация содержания фундаментальных понятий и их эволюции в рамках физического знания, так и для методологического анализа, имеющего целью построение логически связанной системы принципов физического познания.

Кроме того, ситуация в современной физике высоких энергий связана с глубоким разрывом между экспериментом и теорией. Проверка современных теорий объединения взаимодействий (теорий великого объединения, теорий квантовой гравитации) не просто затруднена, а невозможна по техническим причинам. В связи с этим необходимо осмыслить статус этих теорий (т.е. их логическую непротиворечивость, согласованность философских оснований, преемственность классическим теориям). Невозможность эмпирической проверки провоцирует рост числа концепций на объединение известных взаимодействий, что требует от физики и философии новых познавательных методов и средств. Выявление содержания и функций принципа унификации позволяет выдвинуть операционалистские требования к унификации физических теорий и с философской точки зрения показать, какая из теорий достигла большего объединения.

Степень разработанности проблемы

Проблема объединения знания в философском аспекте может быть прослежена со времен античности. Фалес, предлагавший сводить различные элементы описания мира к одному фундаментальному (вода), представляет пример концепции редукционизма. Анаксимандр, утверждавший первоначалом нечто неопределенное в конкретных терминах (апейрон), представляет пример агностицизма. Демокрит утверждал сводимость всех явлений к сочетаниям атомов, но при этом его атомы имеют различные формы, несводимые к какой-то одной. Это пример синтетизма, который характеризуется постулированием нескольких фундаментальных уровней описания мира.

Интерес к проблеме поддерживается и в средневековье (например, работы П. Рамуса, Р. Луллия, Ф. Бэкона). В трудах исследователей времен Возрождения (Г. Галилей, Р. Декарт, Г. Лейбниц) мы можем найти попытки обращения к методологии: возникает вопрос о том, как искать единство знаний. В Новое время методологическая тенденция рассмотрения проблемы усилилась. Например, И. Кант писал, что «Разум должен подходить к природе, с одной стороны, со своими принципами, сообразно лишь с которыми согласующиеся между собой явления и могут

иметь силу законов»¹, т. е. объединение знаний возможно с помощью системы познавательных принципов.

С Нового времени прослеживается несколько основных подходов в понимании единства знаний: во-первых, онтологический (единство знаний отражает единство мира – Платон, Г. Галилей), во-вторых, гносеологический (единство знаний обусловлено единством познавательных принципов человеческого разума – И. Кант). Во времена господства философии позитивизма проблема единства знаний приняла форму проблемы редукции всех знаний к базису. Под базисом понимались, например, протокольные предложения (например, М. Шлик), унифицированный язык науки, созданный из научных терминов (Р. Карнап и О. Нейрат). В это же время появляется концепция дополнительности Бора и тезис холизма П. Дюгема, которые, применительно к проблеме единства знания, можно назвать принципом сохранения многообразия (концепция плюрализма). В физическом познании концепция редукционизма находит поддержку и защиту в области физики элементарных частиц (например, модель кварков, которая предложена для систематизации адронов; модель суперструны, которая объединяет все элементарные частицы).

С 60-х гг. XX века появляются следующие подходы к пониманию проблемы единства знаний: антиредукционизм (П. Фейерабенд, Т. Кун), синтетические модели единства (Ф. Китчер, Дж. Холтон), плюрализм (Стэнфордская школа – Дж. Дюпре, Н. Картрайт).

Таким образом, на сегодняшний день существует несколько основных подходов к единству знания. Первый подход признает единство мира и признает возможность сведения элементов описания мира к некоторому фундаментальному остатку. Это модели редукции. Второй подход признает единство мира, но не признает возможность сведения элементов описания мира к фундаментальному уровню. Это модели агностицизма. Третий подход отрицает как единство мира, так и возможность объединения его элементов. Это модели антиредукционизма (плюрализм). Четвертый подход не признает единства мира, но признает возможность объединения элементов описания мира, например, путем использования универсального языка, т. е. этот подход признает существование несводимых уровней описания мира. Это модели синтетизма.

¹ Кант И. Критика чистого разума. Москва: Эксмо, 2010. С. 21.

Начало активного исследования принципов физики, как в философско-методологическом, так и в физическом плане, можно соотнести с работами А. Эйнштейна (принцип относительности) и особенно с работами Н. Бора (принципы дополнительности, соответствия).

Если обратиться к работам отечественных авторов по проблеме единства знания, то можно сказать, что исследования сосредоточены, прежде всего, на методологическом аспекте проблемы. С анализа принципа соответствия И. В. Кузнецовым начались активные исследования содержания методологического аспекта принципов физики¹. Принципом объединения знания занимался в основном И. С. Алексеев², однако мыслил его как единство физической картины мира (т. е. исключительно в узко философском аспекте). Наибольшее число работ связано в основном с принципами соответствия, симметрии и сохранения (Н. Ф. Овчинников, А. А. Печенкин, Е. А. Мамчур, Б. М. Кедров, А. Л. Симанов).

Обобщая, можно сказать, что по проблеме объединения знания в физике имеется обширная научная литература, что соответствует актуальности выбранной темы.

Необходимо обратить внимание на отсутствие комплексного исторического исследования физических теорий на унифицированность знания (например, некоторые аспекты унификации в теории электромагнетизма и теории относительности рассмотрены в работе М. Моррисон «Объединение научных теорий»³). Кроме того, отметим что в исследовательской литературе не встречается попытка вывести общие критерии унифицированности физических теорий, а также недостаточно внимания уделяется анализу современных гипотетических теорий всех взаимодействий (теорий всего).

Наиболее близко к вопросам, затрагиваемым в работе, можно отнести следующих авторов, в соответствии с направлениями исследований:

- общеметодологические исследования, которыми занимались В. М. Мостепаненко, В. С. Степин, В. П. Бранский, А. Л. Симанов, И. С. Алексеев и др. Также отметим исследования в области истории физики – Б. Г. Кузнецов, П. С. Кудрявцев и др. За рубежом исследования феномена объединения в науке занимались М. Моррисон,

¹ Методологические принципы физики. – М.: Наука, 1975. – 511 с.

² Там же.

³ Morrison M. Unifying scientific theories. – Cambridge University Press, 2007.

М. Фридман, Ф. Китчер, О. Нейрат и другие. Критика феномена единства принадлежит П. Галисону, Н. Картрайт.

- работы по проблемам функционирования философских, общенаучных, конкретно-научных понятий и категорий (Р. А. Аронов, М. Д. Ахундов, Л. Б. Баженов, В. П. Бранский, В. С. Готт, А. Грюнбаум, П. И. Дышлевый, В. В. Казютинский, Р. Карнап, Т. Кун, И. Лакатос, Е. А. Мамчур, М. В. Мостепаненко, Г. Я. Мякишев, Н. Ф. Овчинников, К. Поппер, А. Л. Симанов, В. С. Степин и др.);

- методологические принципы физического познания, а также важные для исследования принципы симметрии, объединения, сохранения (М. Д. Ахундов, В. С. Барашенков, Д. И. Блохинцев, Д. Бом, Н. Бор, В. П. Бранский, М. Бунге, Г. Вейль, Е. Вигнер, В. П. Визгин, В. Гейзенберг, П. А. М. Дирак, В. Н. Костюк, И. В. Кузнецов, М. В. Мостепаненко, Э. Нетер, Н. Ф. Овчинников, И. Л. Розенталь, Л. Розенфельд, Л. А. Симанов, Э. М. Чудинов, В. А. Фок, А. Эйнштейн и др.);

- работы теоретиков по таким разделам физики, как: классическая, аналитическая и квантовая механика, классическая и квантовая теории поля, специальная и общая теории относительности, калибровочные теории взаимодействий, а также кандидаты на единые теории взаимодействий (теория струн, петлевая квантовая гравитация) (А. Эйнштейн, И. Ньютон, Дж. Максвелл, К. Ланцош, Р. Фейнман, Л. Смолин, Р. Пенроуз, Б. Цвибах, Б. Грин, Н. Бор, М. Планк, С. Вайнберг, М. Фарадей, П. Дирак, Х. Джорджи, А. Салам, П. К. Рашевский);

- философские и методологические представления физиков (М. Планк, Н. Бор, А. Эддингтон, А. Эйнштейн, Р. Фейнман, Владимиров), историков и философов физики (Л. С. Полак, В. П. Визгин, Г. Я. Мякишев, Б. Г. Кузнецов, П. С. Кудрявцев, В. С. Степин) о физическом познании, основаниях и принципах физики, понятии физической картины мира, а также о структуре и эволюции понятия физических законов.

Объект исследования – философские и методологические основания физических теорий в их историческом развитии.

Предмет исследования – принцип унификации в физических теориях.

Основная цель – выявить способы реализации принципа унификации в физических теориях.

Задачи диссертационного исследования

1. выявить содержание принципа унификации путем:
 - а. уточнения взаимосвязи принципа унификации с другими принципами физического познания;
 - б. выявления структуры, функций, аксиологической роли принципа унификации;
2. систематизировать унифицированные физические, философские и математические элементы фундаментальных физических теорий в истории физики;
3. выявить способы реализации принципа унификации в фундаментальных теориях физики;
4. выявить способы реализации принципа унификации на философском уровне физического познания путем:
 - а. исследования категорий физики;
 - б. исследования частно-физических картин мира.

Методология и методы исследования

Для того чтобы выявить способы реализации принципа унификации, анализируется история возникновения и становления физических теорий с точки зрения входящих в них принципов и концепций, а также история представлений о единстве знания в трудах философов и физиков.

Методологической основой исследования является система принципов физического познания: решение поставленных задач осуществляется на основе использования в работе принципов всеобщей взаимосвязи, объяснения, математизации, простоты, соответствия, сохранения, симметрии и т. д. Принципы физического познания и их уровни рассматриваются не как обособленные и самостоятельные единицы методологического анализа, а как элементы единой, связанной методологической системы.

Использованы следующие общенаучные методы:

- 1) структурный метод (физические теории, физические и методологические принципы понимаются как концептуальные конструкции с взаимосвязанными уровнями);
- 2) методы описания и сравнения (выделение и сопоставление физических, философских и математических элементов физических теорий);

3) принцип историзма (анализируются ключевые исторические работы физиков в физической части исследования, работы философов в методологической части исследования; описание эволюции физических категорий и метафизических моделей мира);

4) графический и табличный методы (для наглядного представления связей между концепциями, принципами и идеями).

Теоретической основой диссертационной работы являются следующие научные и философские концепции:

- система методологических принципов физики (И. В. Кузнецов, А. Л. Симанов, А. Эйнштейн, Н. Бор, И. С. Алексеев, Н. Ф. Овчинников, А. А. Печенкин);

- философско-методологические концепции строения и развития естественнонаучной теории (В. М. Мостепаненко, В. С. Степин, В. П. Бранский, И. Лакатос, Л. Б. Баженов);

- концепция физической теории как гипотетико–дедуктивной системы (А. Эйнштейн, Л. Б. Баженов);

- концепция физической картины мира (М. Планк, И. Кант, П. Дышлевой, М. В. Мостепаненко, В. С. Степин); – классические работы по фундаментальным теориям физики (И. Ньютон, М. Фарадей, Дж. К. Максвелл, А. Эйнштейн, М. Планк, Э. Шредингер, Н. Бор и другие);

- модели эволюции физической теории (К. А. Томилин, Ю. С. Владимиров, В. П. Визгин);

- концепция физических категорий (Ю. С. Владимиров, И. В. Кузнецов).

Также теоретическую основу работы составляют результаты, полученные физиками и математиками, и выводы исследователей, относящиеся к области философии и методологии естествознания. Описанные противоречия в современных физических теориях свидетельствуют о том, что основная цель современной физики, а именно создание теории всех взаимодействий, может быть достигнута только на основе синтеза идей и методологий классической и неклассической физики. Опыт осмысления уже проведенного синтеза представлен в настоящей работе.

Научная новизна

1. Унификация физических теорий рассмотрена как принцип физического познания, что позволяет комплексно рассмотреть проблему исследования как состоящую из двух частей: физической и философско-методологической.

2. Систематизированы подходы к унификации знания в физическом познании.
3. Предложена совокупность методологических требований, с помощью которых на историческом материале раскрываются способы реализации принципа унификации. Выявлены способы реализации принципа на физическом и философском уровнях познания.
4. Сформулированы операционалистские требования к унифицированной теории и произведена оценка существующих гипотетических теорий всего.
5. Систематизированы модели эволюции физического познания, а также физические картины мира. На основании систематизации показано, что развитие современной физики основано на двух метафизических программах.

Положения, выносимые на защиту

1. Подходы к унификации знания в физике систематизированы на основе двух положений: первое – онтологическое единство мира, предполагающее возможность существования фундаментального уровня, обуславливающего многообразие явлений мира; второе – гносеологическое единство мира, предполагающее возможность редукции элементов, составляющих знание о мире, к единой теории. На основе этих положений выделено три подхода к объединению знания: редукционизм, принимающий оба положения; синтетизм, признающий существование нередуцируемых уровней физического мира; и антиредукционизм. Первый из подходов наиболее широко применяется в современной физике.
2. На уровне физических теорий унификация реализуется, во-первых, в виде редукции существующих физических теорий к общему основанию (наиболее перспективной теории). Например, сведение теории оптических явлений к теории электромагнитных явлений. Во-вторых, в виде синтеза физических теорий. Например, объединение специальной теории относительности и электродинамики в релятивистскую электродинамику. В-третьих, в виде обобщения физических принципов или математического аппарата физической теории. Например, обобщение математического (евклидова) пространства классической механики на математическое пространство теории относительности (псевдоевклидово в специальной теории относительности и риманово в общей теории относительности). На философском уровне познания унификация реализуется в формировании физических картин мира. Картины мира основаны на концептуальном ядре фундаментальных физических теорий, которые

экстраполируют свои методы на уже существующие теории и на исследования новых областей.

3. Сформулированы операционалистские требования к унификации физических теорий: а) наличие обобщенной математической структуры; б) наличие фундаментального объекта, описывающего такие физические категории как пространство-время, частица, поле; в) в предельных случаях теория должна приводить к квантовой теории поля и общей теории относительности; г) наличие общего закона сохранения; д) схождение к одному значению фундаментальных параметров взаимодействия.

4. Исследование и оценка существующих гипотетических концепций объединения всех взаимодействий (теория суперструн, теория петлевой квантовой гравитации) показали, что на сегодняшний день ни одна из них не удовлетворяет в полной мере всем перечисленным критериям. Так, в теории струн нет обобщенного закона сохранения и обобщенной математической структуры. Суперструну интерпретируют в категориях частицы и поля, при этом она существует в статическом пространстве-времени, что является концептуальным затруднением теории. В теории петлевой квантовой гравитации нет обобщенного закона сохранения. Пространственные волокна этой теории интерпретируют как кванты пространства-времени, полей и частицы, что позволяет обойти затруднение теории суперструн.

5. Показано, что физическое познание развивается нелинейно в рамках взаимодействия метафизических программ. В развитии современной физики происходит экстраполяция на новые области исследования двух программ, первая из которых основана на общей теории относительности (геометрическая полевая программа), а вторая – на квантовой механике (квантово-релятивистская программа). Обе программы классифицируются как редукционистские, поскольку в них постулируются физические объекты, которые могут быть описаны в таких категориях как пространство-время, частица, поле.

Теоретическая и практическая значимость работы

- предложена методология анализа физического познания с точки зрения унификации физических теорий, которая может быть полезна в практике решения методологических проблем науки;

- разработана модель анализа принципов физического познания, которая может быть применена к исследованию и оценке других методологических принципов;
- результаты исследования могут быть использованы при чтении курсов лекций по философско-методологическим проблемам современного естествознания для студентов, аспирантов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов определяется корректным выбором релевантной предмету исследования и поставленным задачам методолого-теоретической базы. Выбор источников во многом продиктован интересом к таким проблемам, которые обсуждаются в современной отечественной и зарубежной литературе. Источниковой базой исследования явились общеметодологические исследования, работы по проблемам функционирования философских, общенаучных, конкретно-научных понятий и категорий, работы по исследованию методологических принципов физического познания, работы теоретиков по таким разделам физики, как классическая, аналитическая и квантовая механика, классическая и квантовая теории поля, специальная и общая теории относительности, калибровочные теории взаимодействий, а также кандидаты на единые теории взаимодействий (теория струн, петлевая квантовая гравитация), философские и методологические представления физиков.

Апробация

1. Положения и результаты исследования опубликованы в 11 статьях и 5 тезисах конференций.

2. Результаты исследования докладывались на: 51-й и 52-й международных научных студенческих конференциях “Студент и научно–технический прогресс” (Новосибирск, апрель 2012 и апрель 2013 г.), а также на 10-й, 11-й, 12-й региональных научных конференциях молодых ученых Сибири в области гуманитарных и социальных наук «Актуальные проблемы гуманитарных и социальных исследований».

Глава 1 Унификация физических теорий как принцип физического познания

В контексте диссертационной работы философско-методологическое решение проблемы унификации физических теорий заключается в использовании концепции принципов физического познания¹. Преимущество использования этой концепции заключается в том, что она позволяет с единых философско-методологических позиций рассматривать различные проявления тенденции к унификации физических теорий, искать их общие основания. Концепция принципов физического познания также позволяет анализировать содержание физической теории как связанное целое, анализировать множество элементов теории как стройную систему.

Ввиду вышесказанного основная цель главы – интерпретировать унификацию физических теорий как реализацию принципа физического познания. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) классифицировать подходы к понятию «единство знания»;
- 2) уточнить понятие «принцип физического познания»;
- 3) раскрыть содержание принципа унификации;
- 4) конкретизировать методологические требования и установки принципа унификации для анализа физических теорий.

1.1 Понятие единства знания в истории философии

Поскольку понятие «единство (научного) знания» имеет множество трактовок и интерпретаций, постольку цель параграфа заключается в описании и систематизации подходов к пониманию этого понятия.

В античности, начиная с греческой досократической традиции, проблема единства знания была связана с поиском первоначального элемента (первоначала) мира. Можно

¹ см. Методологические принципы физики. М.: Наука, 1975, Симанов А. Л., Стригачев А. Методологические принципы физики: общее и особенное. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ие, 1992, Овчинников Н. Ф. Тенденция к единству науки. М.: Наука, 1988., Акчурина И. А. Единство естественнонаучного знания. М.: Наука, 1974.

указать на следующих философов и их первоначальные элементы: вода у Фалеса, воздух у Анаксимандра, апейрон у Анаксимена, корни у Эмпедокла, закон (Логос) у Гераклита, бытие у Парменида, атомы у Демокрита. По сути, появляется идея первоначальной субстанции, которая обладает теми или иными качествами, т.е. атрибутами (например, неделимость у Парменида, дискретность у Демокрита, статичность у Зенона, динамичность у Гераклита).

Обратимся к философии Платона. Например, в диалоге «Софист» можно найти онтологический подход к проблеме: «И знание едино, но всякая часть его, относящаяся к чему-либо, обособлена и имеет какое-нибудь присущее ей имя. Поэтому-то и говорится о многих искусствах и знаниях»¹. Аксиологический подход связан с идеей блага, поскольку «благо является высшей системообразующей категорией и в этом смысле основанием единства знаний: ценность того или иного знания... определяется потребностями идеального государства»². Аристотель продолжает развивать онтологический подход к проблеме, выдвигая идеи упорядоченного космоса и перводвигателя (божества как начала всех начал). В его философии центральным элементом «выступает мышление, отвлеченное от человеческого существования и связанное с первопричиной»³. В эллинистическую эпоху наблюдается формирование математизированных наук, которые определяют характер единства знания в эту эпоху.

Таким образом, в античный период наблюдается становление онтологического подхода к проблеме единства знания, поскольку характерная черта этой философии – «поиск единой первоосновы, модификациями которой оказываются все вещи окружающего мира»⁴. Отметим также становление аксиологического подхода, который связан с пониманием ценности именно объединенного (единого), а не разрозненного знания о мире.

В религиозной (христианской) философии организация знаний отражает идею о мире, где первоначалом является бог. Со средних веков – работы Р. Луллия и П. Рамуса – начинается поиск универсального логического языка, который бы смог описать все знания и объединить их, поскольку знания и законы даны богом и потому едины. С одной стороны, наблюдается продолжение античного онтологического подхода к

¹ Платон. Собрание сочинений. В 4 т. Т. 2. М.: Мысль, 1993. С. 330.

² Единство научного знания. М.: Наука, 1988. С. 43.

³ Там же. С. 40.

⁴ Там же.

проблеме единства знания, с другой стороны можно констатировать появление эпистемологического подхода к проблеме, поскольку ученые начинают мыслить о способах, методах достижения единого знания.

В течение XVI – XVII вв. утверждается идея Н. Кузанского о том, что объектом изучения естественных наук является физический мир, а методами его изучения – наблюдение и экспериментирование. Ф. Бэкон (конец XVI в.) полагал, что единство науки порождается нашей организацией знаний о мире. Он представлял единство в форме пирамиды, уровни которой – разные степени обобщения изученного материала. Его представления развивают эпистемологический подход к проблеме: единство или разнообразие знаний обусловлено человеческим восприятием мира (явлений).

Во времена рождения научного мировоззрения Г. Галилей говорил о том, что философия записана в книге, которая раскрыта перед человеком. Понять книгу можно лишь зная язык, на которой она написана. По Галилею книга написана на языке математики, а ее буквы — геометрические фигуры, причем «истина, познание которой нам дают математические доказательства, та же самая, какую знает и божественная мудрость... наш способ (познания – Е. Б.) заключается в рассуждениях и переходах от заключения к заключению»¹. Таким образом, к наблюдению и экспериментированию как способам познания мира Галилей добавляет математическое доказательство. По Галилею только с помощью геометрии и математики (математического языка) человек способен понять и объяснить природу. Такое представление является продолжением эпистемологического подхода к единству знания.

Начало собственно научного поиска единства знаний способствовало обращению к методологии (вопрос о том, как искать единство – эпистемологический аспект), ввиду чего «Галилей объединил экспериментальный и индуктивный методы с математической дедукцией и, таким образом, сделал решающий шаг для установления истинного метода новой физики»².

Во времена расцвета рационализма Р. Декарт представлял единство мира (знания о мире) в виде древовидной структуры, в основании которой находится метафизика как единое и объединяющее начало: «Вся философия подобна дереву, корни которого — метафизика, ствол — физика, а ветви, исходящие от этого ствола, — все прочие науки,

¹ Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира птолемеевой и коперниковой. М.-Л.: Гостехиздат, 1948. С. 89.

² Единство научного знания. С. 55.

сводящиеся к трем главным: медицине, механике и этике»¹. Помимо этого, он, как и Галилей, представлял геометрию с ее наглядностью (ясностью и отчетливостью) парадигмой для объединения знания. Однако к современной науке понятия ясности и отчетливости малоприменимы², поскольку, во-первых, существует множество геометрий, вследствие чего ведутся споры о том, какая геометрия реально описывает мир, во-вторых, научным понятиям (например, суперпространство, ψ -функция) все более сложно сопоставить наглядный образ, их определение становится формальным.

Лейбниц предлагал создать энциклопедию, основанную на каталогизации простых мыслей и логических связях, которые делали бы знание более наглядным. Вера в единство знаний в Просвещении выразилась в появлении энциклопедической традиции, например, французская «Энциклопедия, или толковый словарь наук, искусств и ремесел» (редакторы Д. Дидро и Ж. Даламбер). Слово «энциклопедия» означает «обучение в круге», т. е. человеческое знание, приведенное в замкнутую систему, в которой существуют взаимосвязи между понятиями и дисциплинами. Эти идеи французских просветителей – дополнение идей Лейбница.

До эпохи Просвещения (а именно до И. Канта) господствовало представление о том, что единство знания реально и достижимо. Кант считал, что единство научного знания не является отражением единства в природе: единство основывается на объединяющих функциях и понятиях разума. В методологическом плане он вводит понятия конститутивных и регулятивных принципов. Первые являются субъективными принципами познания, которые устанавливают определенные формы предметности. Пример Канта: «степень ощущений от солнечного света я могу... конструировать из 200 000 лунных освещений»³. Регулятивные принципы «направляют человеческое познание на отыскание глубинных связей природных законов»⁴. Под высшим регулятивным принципом он понимает идею бога. Эта идея требует «чтобы разум рассматривал все связи в мире так, как если бы они возникали из вседвелеющей необходимой причины»⁵. Характеризуя методологическую позицию Канта, можно привести следующую цитату: «Разум должен подходить к природе... со своими

¹ Декарт Р. Сочинения: В 2-х т. М.: Мысль, 1989. С. 309.

² см. Бранский В. П. Философское значение проблемы «наглядности» в современной физике. Изд-во ЛГУ, 1962.

³ Кант И. Критика чистого разума. Москва: Эксмо, 2010. С. 187.

⁴ Новая философская энциклопедия: в 4 т. М.: Мысль, 2010. URL: <http://iph.ras.ru/elib/1488.html>.

⁵ Кант И. Критика чистого разума. С. 470.

принципами, сообразно лишь с которыми согласующиеся между собой явления и могут иметь силу законов»¹. Таким образом, Кант понимал единство знания как регулятивный принцип разума, как руководящий идеал в стремлении к полноте эмпирической науки (т. е. только в аксиологическом и эпистемологическом аспектах). Понимание Кантом единства знания можно квалифицировать как принятие эпистемологического подхода к рассмотрению проблемы.

С В. Дильтея, В. Виндельбанда и Г. Риккерта начинается так называемый «спор о методе». По поводу сути «спора» можно выделить несколько точек зрения. Первая точка зрения основана на возможности разграничения естественных и гуманитарных наук. Виндельбанд предложил понятие «метод» как критерий различения между естественными (науки о природе) и гуманитарными (науки о духе) науками. Другая точка зрения основана на редукции методов гуманитарных наук к естественным наукам (натурализация). А. Сен-Симон и Дж. Милль считали, что науки об обществе должны опираться (концептуально и методологически) на естествознание. Например, натурализация эпистемологии утверждает, что «эпистемология сама по себе является эмпирической наукой, одной из специальных наук... обладающих собственным предметом исследования. В области философии науки этот предмет – методы научного исследования, методы всех уровней»². Таким образом, история «спора о методе» демонстрирует два подхода к проблеме единства знания. Первый подход выдвигает концепцию плюрализма (разнообразие знаний), основанную на различии методов, которыми пользуются науки. Второй подход выдвигает концепцию редукции знания и методов получения знания, тем самым выступая за единство знания и метода.

Философия позитивизма продолжает попытки представителей «спора о методе» понять отношения между естественными и гуманитарными науками. Здесь и далее господствует эпистемологический подход к проблеме единства знания. Замысел О. Конта – основателя философии первого позитивизма – состоял в том, чтобы посредством объединения наук создать единую философскую систему. Конт хотел объединить науки путем исключения из них метафизических идей и натурализации гуманитарных наук. Он построил иерархию дисциплин от общих наук о простых явлениях до конкретных наук о сложных явлениях.

¹ Там же. С. 21.

² Головкин Н. В. Картина мира и методологический реализм: теоретические и операциональные ограничения в эпистемологии науки. Новосибирск, 2007. С. 104.

Представитель второго позитивизма – Э. Мах – считал, что мир состоит из комплексов ощущений, которые обладают постоянством. Задача науки – понять связь этих элементов, т. е. объединенное знание может быть получено через анализ и классификацию ощущений. Мах ввел принцип экономии мышления, согласно которому критерий истины знания заключается в том, что максимум знания может быть достигнут при использовании минимума познавательных средств.

Представители третьего – логического – позитивизма поставили перед собой цель достичь объединенного знания под лозунгом «единство науки без метафизики». Можно выделить две фигуры, связанные с проблемой объединения знания в логико-лингвистическом ключе, – О. Нейрат и Р. Карнап. Оба полагали, что объединение знания заключается в создании единого языка науки. Нейрат полагал, что необходимо разработать унифицированный язык науки, опирающийся на язык физики и математики, с помощью которого возможна унификация наук, т. е. установление логических связей между ними, разработка единой методологии, анализ понятий с целью исключения из них метафизических положений. Дж. Кэт пишет, что это была «модель–энциклопедия, которая приняла во внимание наличие в науке неустранимых и неточных терминов из обыденного языка и социальных наук и подчеркнула единство языка»¹. Модель на основе именно единого языка, а не редукция к физическим терминам.

Р. Карнап развивает идею Маха об унифицированном языке, опирающемся на объединение словарей физики и психологии. Он считал, что «все эмпирические предложения выразимы в едином языке, а все положения дел относятся к одному виду и познаются с помощью одного метода»². Программа нахождения единого «физического» языка науки получила название «физикализм», который можно определить как требование адекватного перевода предложений всех наук, содержащих описание явлений, в предложения, состоящие из терминов физики. Таким образом, физикализм – форма редукционизма.

Тенденция к единству знания приобрела форму объективизма, поскольку физикализм стремился перевести субъективный язык опыта в объективный и универсальный язык физических терминов. Историческая значимость физикализма заключается в привлечении внимания к проблеме поиска объединяющих принципов

¹ Cat J. Unity of science // The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Stanford university. URL: <http://plato.stanford.edu/entries/scientific-unity/>.

² Пассмор Дж. Сто лет философии. М.: Прогресс–Традиция, 1998. С. 291.

науки (единый язык, единая методология), что может быть квалифицировано как продолжение разработки эпистемологического подхода к проблеме.

В это же время появляются и антиредукционистские позиции по отношению к проблеме единства знания (концепции плюрализма), например концепция дополнительности Н. Бора или идея холизма П. Дюгема.

В 50-х годах в рамках логического позитивизма сложились две концепции, связанные с понятием редукции, которые актуализировали проблему единства знания: дедуктивно–номологическая модель К. Гемпеля и модель редукции Э. Нагеля.

Модель Гемпеля основывается на процедуре подведения под общий закон предложений, говорящих об определенных явлениях, причем как закон, так и предложения должны быть эмпирически проверяемы. Общий закон – это утверждение универсальной условной формы. Конструируется логическая схема, в которой из начальных условий при помощи общих законов (эксплананса) можно дедуцировать объясняемое явление (экспланандум). Таким образом, «универсальная гипотеза утверждает регулярность следующего типа: в каждом случае, когда событие определенного вида P имеет место в определенном месте и в определенный момент времени, событие определенного вида C будет иметь место в том месте и в тот момент времени, которое определенным образом связано с местом и временем появления первого события»¹.

Модель редукции Нагеля устанавливает условия сводимости одной теории к другой, при этом «объяснить» – значит «свести к объясненному», или показать, что объясняемая теория выводима из объясненной теории. Если теории формализованы в логике первого порядка, то модель редукции описывает условия их сводимости. Условий два: 1) совместимость и 2) выводимость (дедуцируемость). Под первым понимается следующее: «для любого теоретического термина M , содержащегося в $T2$ и не содержащегося в $T1$, существует теоретический термин N , который может быть сконструирован в $T1$, но не в $T2$, причем такой, что для любого объекта x имеется M тогда и только тогда, когда x имеет N »². Это условие требует нахождения логической эквивалентности между терминами или законами редуцируемых теорий. Второе условие

¹ Гемпель. К. Г. Логика объяснения. М.: Дом интеллектуал, 1998. С. 16–31.

² Сторожук А. Ю. Пределы науки. Новосибирск, 2005. С. 101.

требует, чтобы между терминами и законами редуцируемых теорий была логическая связь в виде дедуктивных отношений.

Основываясь на приведенных моделях и статье А. Нэй «Редукционизм»¹, мы можем вывести общие модели редукции. Теорию, которую хотят редуцировать, будем называть вторичной (Т). Теорию, к которой хотят редуцировать вторичную теорию, будем называть базовой (Б). Можно выделить три достаточно общих подхода, с помощью которых рассматривается редукция.

1) Трансляционная модель. Теория Т сводится к теории Б, когда все истины из Т, включая законы, могут быть переведены на язык теории Б. Исторически, модель ассоциируется с ранним логическим позитивизмом Карнапа и Нейрата. Это модель сильной редукции, хотя формулировка может быть ослаблена.

2) Дедуктивная модель. Теория Т сводится к теории Б, когда все законы из Т могут быть дедуктивно выведены из законов Б. Это пример унификации в математическом смысле. Отметим, что унификация несимметрична, т.к. не предполагается обратного дедуктивного вывода. Можно представить еще одно подобное определение: «Одно выражение унифицируется с другим, если существует такая подстановка в переменные первого выражения, что при ее применении к первому выражению получается второе выражение»². Эта модель позднего логического эмпиризма Гемпеля и Нагеля.

3) Объяснительная модель. Теория Т сводится к теории Б, когда все результаты наблюдений, которые объясняет Т могут быть также объяснены теорией Б. Эта модель связывается с именами Кемени и Оппенгейма.

Модели не противоречат, а скорее дополняют друг друга. Общая цель редукции заключается в том, чтобы обеспечить единство науки путем сведения набора теорий к базовой теории. Редукция позволяет видеть, что только одна теория из набора реально необходима для того, чтобы объяснить набор явлений.

Приведем пример редукционистской модели в физике. П. Оппенгейм и П. Патнем предлагают модель онтологической редукции в статье «Единство науки в качестве

¹ Ney A. Reductionism // "Naturalistic Epistemology," by Chase B. Wrenn, The Internet Encyclopedia of Philosophy. URL: <http://www.iep.utm.edu/red-ism/>.

² Власов Д. Ю. Логико-эмпирические основания математики. // Философия науки. 2012. №4. С. 82.

рабочей гипотезы»¹. Они сформулировали представление о науке как о единстве понятий и законов через редукцию к простым элементам, т.е. сформулировали утверждение, что эволюция науки заключается в тенденции сведения элементов к наиболее простым элементам: от организмов к элементарным частицам. Они защищали это представление как эмпирическую гипотезу, а не как априорный идеал.

Доктрина редукционизма находит наибольшую поддержку и защиту в области физики элементарных частиц (приведем, например, модель кварков, которая предложена для систематизации адронов; модель суперструны, которая объединяет все элементарные частицы). В связи с этим возникает вопрос об истинно фундаментальном уровне материи. Альтернативные варианты: материя бесконечно делима (кварки, преоны и др.); конечно делима (бреды, струны и т.д.); неделима (геометрические модели, например, геометродинамика).

Среди ученых-физиков, например, М. Планк считает, что наука приближается к истинному знанию путем движения от субъективного описания мира к объективному описанию. Он писал: «с тех пор, как существует изучение природы, оно имеет перед собой в качестве идеала конечную, высшую задачу: объединить пестрое многообразие физических явлений в единую систему, а если возможно, то в одну–единственную формулу»². Единство науки (физики), по Планку, возможно путем описания мира едиными принципами (методологическое единство), например, через принцип наименьшего действия, из которого можно вывести законы сохранения классической физики. Высказывания и идеи Планка также носят редукционистский характер.

На основе проведенного обзора и статьи Дж. Кэт «Единство знания»³ подведем промежуточные итоги по подходам к единству знания.

1. Внешнее единство характеризуется наличием границы, которая разграничивает науку и не-науку. Например, для Венского кружка внешнее единство характеризуется возможностью верификации гипотез, для К. Поппера – возможностью фальсификации гипотез. Внутреннее единство характеризуется отношениями в науке или между науками.

¹ Oppenheim P., Putnam P. The unity of science as a working hypothesis // H. Feigl Minnesota Studies in the Philosophy of Science. 1958. vol. 2. Minneapolis: Minnesota University Press. Также см. Fodor J. Special sciences, or the disunity of science as a working hypothesis // Synthese. 1974. № 28.

² Планк М. Единство физической картины мира. М.: Наука, 1966. С. 23.

³ Cat J. Unity of science // The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Stanford university.

2. Синхронное единство возможно при условии отсутствия значимых временных отношений. Диахронное единство вводит генеалогические гипотезы, включающие временные и причинно–следственные связи между явлениями (например, эволюционные модели).

3. Онтологическое единство связано с представлением об устройстве окружающего мира и знания о нем. Сюда относятся концепции плюрализма, единства, эмерджентизма¹.

4. Эпистемологическое единство связано с объяснительными и познавательными отношениями. Например, редукция (натурализация) или синтез как способы достижения единства знания.

5. Аксиологическое единство связано с ценностью объединенного знания для человека.

Остановимся на основных направлениях современных философских исследований проблем редукции и синтеза в контексте проблемы единства знания. Временной период, который мы охарактеризуем, начинается с 60-х годов XX века до современного состояния. При составлении обзора использовалась статья Дж. Кэт «Единство знания»².

Во–первых, *антиредукционизм*. П. Фейерабенд отверг модель редукции Нагеля и высказал тезис о несоизмеримости теорий, в котором он утверждал, что поскольку нет понятий, сохраняющихся при переходе от одной теории к другой, постольку нет основы для сравнения теорий. В связи с этим не существует теоретически нейтрального языка как инструмента для редуцирования теорий. Например, термин «масса» используют как в классической, так и в релятивистской механике, но его содержание не одинаково для этих теорий. Т. Кун пишет: «эти две теории совершенно несовместимы в том же смысле, в каком была показана несовместимость астрономии Коперника и Птолемея: теория Эйнштейна может быть принята только в случае признания того, что теория Ньютона ошибочна»³.

Т. Кун поддержал тезис несоизмеримости и вместе с Фейерабендом они отвергли понятие о линейном развитии науки и понятие о накоплении знания (кумуляции). Дж. Кэт писала, что: «позитивистская модель разрушила различие между синхронным и

¹ Bedau M. H., Humphreys P. Emergence. Cambridge, MA: MIT Pres, 2008.

² Там же.

³ Кун Т. Структура научных революций (Сборник). М.: АСТ, 2003. С. 130.

диахронным единством»¹. Как результат, антиредукционизм настаивает на мировоззренческом и методологическом плюрализме, заключающемся в тезисе «все дозволено». Антиредукционизм инициировал поиски уточненной модели развития науки (Лакатос, Малкей).

Во-вторых, *неоредукционизм*. Он возник как попытка спасти модель редукции Нагеля в ситуации существования предположительно несоизмеримых теорий. Так, например, С. Саркар² классифицирует редукционизм по четырем критериям. Во-первых, фундаментализм – система может быть объяснена в терминах факторов или правил из другой области. Во-вторых, абстрактная иерархия – система представляется как совокупность уровней организации, где объяснительные факторы находятся на низших уровнях. В некотором смысле, это напоминает механицизм. В-третьих, пространственная иерархия является частным случаем абстрактной иерархии, в которой критерием иерархической связи является пространственное разделение (часть–целое). Сильная редукция включает все три требования, в то время как слабая редукция удовлетворяет только требованию фундаментализма. В-четвертых, аппроксимация (приближение) – приближение к редукции – частичное удовлетворение требования фундаментализма.

В-третьих, *синтетические модели единства*. Объединение знания интерпретируется как взаимное обогащение наук. Например, модель П. Китчера³ устанавливает интертеоретические связи, в которых знания верхних уровней (например, генетика Менделя) объясняются через знания нижних уровней (например, молекулярная генетика). Следует упомянуть о «темах» Г. Холтона⁴ (например, симметрия, механицизм, гармония, простота), которые являются примером непрерывности, накопления и, соответственно, объединенности научного знания. С помощью тематического анализа можно находить в науке инвариантные структуры. Основа тематического анализа – идея единства естественно-научного и гуманитарного знания. Единство в этом смысле – это единство тематических элементов. С помощью

¹ Cat J. Unity of science // The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Stanford university.

² Sarkar S. Genetics and Reductionism. New York: Cambridge University Press. 1998.

³ Kitcher P. 1953 and all that: A tale of two sciences. Philosophical Review. 1984. №93.

⁴ Holton G. The Thematic Origins of Scientific Thought. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1973.

эмерджентных моделей¹ философы пытаются сформулировать идею о целом, которое существует отдельно от своих частей и является большим, чем сумма этих частей. Нормальный эмерджентизм говорит о том, что некоторые макро–свойства не могут быть выведены из свойств компонентов. Слабая версия эмерджентизма допускает логическую выводимость макро–свойств из составляющих.

В–четвертых, *модели разобщенности знания*. По Дж. Дюпре² наука зависит от метафизических предположений частных наук и не может представлять собой единый проект. Эта установка поддерживается тремя тезисами: против эссенциализма (существует множество классификаций реальности); против редукционизма (он не учитывает сущностные черты описания мира на разных уровнях); против эпистемологического монизма (нет единой методологии, которая поддерживает единый критерий научности, нет универсальной области ее применимости). Н. Картрайт³ утверждает, что законы не могут быть универсальными: существует «мозаика» законов, поскольку каждый закон имеет ограниченную область применимости. Картрайт отрицает, что существует универсальная предметная область, представленная теорией всего или набором метафизических принципов. Современные эмпирические данные предполагают идею «пестрого», многопредметного мира, лучшее представление о котором может дать образ мозаики. Отсутствие (на сегодняшний день) теории всего говорит об отсутствии единой, универсальной области применимости физической теории, т.е. об отсутствии единой предметной области физики.

Тенденция к единству знания может пониматься как методологический принцип⁴. Методологические принципы используются для разработки метатеоретических вопросов, касающихся философских и методологических основ физических теорий. Обращение к истории физического познания позволяет сделать вывод о том, что осознанное конструирование и использование принципов физического познания в науке происходит на этапе неклассической физики. Например, Н. Бор предложил использовать

¹ Humphreys P. How properties emerge. *Philosophy of Science*. 1997. №64.

² Dupré J. *The Disorder of Things. Metaphysical Foundations of the Disunity of Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1993.

³ Cartwright N. *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

⁴ Cat J. The physicists' debates on unification in physics at the end of the 20th century. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*. 1998. № 28; Sober E. The Multiple Realizability Argument Against Reductionism. *Philosophy of Science*. 1999. №66.; Russel B. Definitions and methodological principles in theory of knowledge // *The monist*. 1914. №4 (24).

принцип соответствия и принцип дополнительности для разработки философского и методологического понимания основ квантовой физики. С помощью этих принципов он сумел решить ряд философских и интерпретационных проблем квантовой механики.

Дальнейшее развитие концепция принципов физического познания получила в отечественной методологической школе¹. Принцип унификации исследовал И. С. Алексеев (в его трактовке – это принцип единства физической картины мира). В советской традиции было предложено понимать тенденцию унификации как одну из функций – «синтезирующая функция» – физической теории². Этот подход ведет к тому, что разные формы реализации тенденции унификации рассматриваются изолированно. Поэтому этот подход может быть квалифицирован как аспектуальный.

Резюме параграфа

- На основании проведенного обзора можно сделать вывод о существовании нескольких подходов к вопросу единства знания. Классифицируем их в зависимости от ответов на следующие вопросы:

- a) возможность единства мира (онтологический вопрос);
- b) возможность сведения / объединения элементов описания мира (гносеологический вопрос).

- Первый подход признает единство мира и признает возможность сведения элементов мира к некоторому фундаментальному остатку. Это модели редукции³.

- Второй подход признает единство мира, но не признает возможность сведения элементов мира к некоторому фундаментальному уровню. Это модели агностицизма.

- Третий подход отрицает как единство мира, так и возможность объединения его элементов. Это модели антиредукционизма⁴.

¹ см. Методологические принципы физики. М.: Наука, 1975., Симанов А. Л., Стригачев А. Методологические принципы физики: общее и особенное. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ие, 1992.

² Баженов Л. Б. Строение и функции естественнонаучной теории. М.: Наука, 1978., Bunge M. Two Unification Strategies: Analysis or Reduction, and Synthesis or Integration // Otto Neurath and Unity of Science. Springer, 2011., Печенкин А. А. Функции научной теории // Философия. Методология. Наука. М.: 1972.

³ Morrison M. Emergence, Reduction, and Theoretical Principles: Rethinking Fundamentalism // Philosophy of Science. 2006. № 5.

⁴ Galison, P., Stump D. The Disunity of Science // Boundaries, Contexts and Power, Stanford: Stanford University Press, 1996.

• Четвертый подход не признает единства мира, но признает возможность объединения элементов мира, например, путем использования универсального математического языка¹. Этот подход признает существование несводимых уровней описания мира. Это модели синтетического единства².

Названные подходы можно упорядочить, как показано в Таблице 1.

Таблица 1 – Подходы к вопросу о единстве знания

Модели понимания единства знания	Возможность единства знания	Возможность объединения знания
редукционизм	+	+
агностицизм	+	–
синтетизм	–	+
антиредукционизм	–	–

1.2 Понятие принципа в методологии науки и физике³

Методологический подход является одним из подходов к пониманию единства знания. Достоинства его использования состоят в возможности, во-первых, анализировать содержание физической теории как связное целое, во-вторых, рассматривать различные проявления унификации физических теорий с единых философско-методологических позиций. Поэтому теоретический базис диссертационного исследования заключается в том, что тенденция унификации физических теорий рассматривается как принцип физического познания. *Исходя из этого цель параграфа – уточнить понятие «принцип физического познания» и отличить его от «физического принципа».*

Наиболее разработанное определение методологического принципа приводится А. Л. Симановым: «каждый принцип формируется на основе процесса конкретно–научного познания, выступая его итогом, квинтэссенцией познавательной практики и

¹ Halonen I., Hintikka J. Unification—it's magnificent but is it explanation? // Synthese. 1999. № 120., Grantham T. Conceptualizing the (dis)unity of science // Philosophy of Science. 2004. № 71

² Causey R. Unified Theories and Unified Science // Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. 1974. № 13.

³Параграф опубликован: Безлепкин Е. А. Понятие принципа в методологии науки и физики. Вестник Ленинградского государственного университета имени А. С. Пушкина. Том 2. Философия. 2014. № 3. С. 73-83.

регулятивом этой практики. Тем самым специфицируется как содержание данного принципа, так и его функционирование. С другой стороны, любой методологический принцип связан по своей природе также с философскими взглядами и предпочтениями исследователя. Эта связь проявляется не только в мировоззренческой наполненности, но, как и в первом случае, в формулировке принципов. Таким образом, каждый методологический принцип содержит в себе черты общего и особенного»¹.

Здесь раскрыты следующие особенности методологического принципа: связь с уровнями познания (конкретно–научным и общеполософским), связь с философскими и научными взглядами исследователя, а также отмечены онтологическая и гносеологическая функции. Однако определение не раскрывает структуру понятия.

Другое определение предлагает, например, Н. Ф. Овчинников: «Нас интересуют процессы вызревания научных теорий, процессы их роста. Разнообразные истоки или корни этих процессов мы назовем принципами теоретизации. Поскольку эти принципы органически включены в методы построения теории, они могут называться и методологическими принципами»². Здесь подчеркнута связь принципа и метода, отмечена конструктивная функция принципа и отдельно обозначен принцип развития.

Замечание Овчинникова о связи понятий «методологический принцип» и «метод» требует дальнейшего исследования. Поэтому к вышеприведенным дефинициям добавим определение понятия «метод».

Разностороннее исследование этого понятия провел, например, В. К. Лукашевич³. Он не только дал определение понятия «метод», но и уточнил его структуру, которая, как можно заметить, перекликается с понятиями конститутивного и регулятивного принципов у И. Канта. Автор пишет, что как целое метод есть «знание, отражающее одну из форм системной организации исследуемого объекта»⁴, причем это знание реализуется как совокупность операций, необходимых для взаимодействия между объектом и познающим субъектом. Рассмотрим структуру научного метода.

¹ Симанов А. Л., Стригачев А. Методологические принципы физики: общее и особенное. С. 7.

² Овчинников Н. Ф. Принципы теоретизации знания. М., 1996. С. 5.

³ Лукашевич В. К. Научный метод: Структура, обоснование, развитие. Мн.: Навука і тэхніка, 1991. С. 63

⁴ Там же. С. 77.

Первый уровень – *предметно–концептуальный* – это «представление об одной из возможных форм системной организации исследуемого объекта»¹. Метод исходит из онтологической модели исследуемого объекта.

Второй – *операционально–нормативный* – «совокупность принципов, норм, правил, предписаний, регламентирующих целенаправленное взаимодействие исследуемого объекта и средств познания, – генетически обусловленный первым»². Это совокупность операций, направленных на реализацию концептуального уровня.

Третий – *логический* – уточняет операциональное содержание метода, отбрасывая те познавательные действия, которые не вытекают с необходимостью из его логического содержания.

Описанные уровни научного метода мы хотим переопределить в качестве уровней методологического принципа. Таким образом, мы получаем следующие уровни.

Первый – *концептуальный* – уровень содержит онтологические основания методологического принципа. Например, среди оснований принципа унификации можно отметить представление о единстве и упорядоченности мира³, которые были систематизированы в первом параграфе. Это представление может быть либо формальным (возможность единого математического языка описания мира), либо содержательным (возможность минимального количества оснований для описания мира).

Наиболее интересные представления о единстве знания в физике – это так называемые «теории всего»⁴, которые мы будем рассматривать в третьей главе. Среди *формальных* теорий заслуживает внимания теория М. Тегмарка, который пишет, что: «все структуры, которые существуют математически, существуют также физически»⁵. Это – один из вариантов платонической концепции, однако Тегмарк превращает эту концепцию в теорию. Среди *содержательных* теорий всего заслуживает внимания теория струн, которая кладет одну сущность – протяженную струну – в основу описания мира.

¹ Там же. С. 79.

² Там же.

³ Bergman D. L. Unification of Physics // Foundation of science. URL: http://www.commonssencescience.org/pdf/articles/unification_of_physics.pdf.

⁴ Laughlin R., Pines D. The Theory of Everything // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2000. № 1.

⁵ Tegmark M. Is “the theory of everything” merely the ultimate ensemble theory? // Annals of Physics. 1998. № 270. С. 1.

Вторым уровнем является *уровень регулятивов*, который будет включать в себя совокупность правил–рекомендаций и правил–запретов. Для принципа унификации можно привести следующие регулятивы: математизация (стремление к единому универсальному языку описания мира); соответствие (стремление к непротиворечивости и преемственности физических теорий), простота (стремление к минимальному числу принципов описания мира). Эти регулятивы в научном исследовании будут реализовывать концептуальный уровень.

Приведем, например, такой регулятив как принцип Гемпеля: «Если А и Б являются оба истинными и А обеспечивает объединенное описание явлений 1 и 2, в то время как Б дает разъединенное описание этих же явлений, тогда А может объяснить 1 и 2, а Б не может»¹.

Третий – *уровень реализации принципа*. Принцип унификации реализуется в виде редукции (например, попытка сведения электродинамики к механике и наоборот) или синтеза (например, попытка синтеза квантовой механики и теории относительности) физических теорий. Об этом пишет, например, М. Бунге, называя редукцию и синтез «унификационными стратегиями»².

Таблица 2 раскрывает структуру научного метода и методологического принципа.

Таблица 2 – Сопоставление структур научного метода и методологического принципа

<i>Уровни</i>	<i>Научный метод</i>	<i>Методологический принцип</i>
первый	предметно–концептуальный	концептуальные основания
второй	операционально–нормативный	регулятивы
третий	логический	реализация

Таким образом, уровни понятия «принцип физического познания» представляют собой взаимосвязанную систему и не полностью совпадают с уровнями понятия «научный метод». Обратим внимание на то, что проявления регулятивов и реализации принципа можно зафиксировать в научных тестах в виде инвариантов теоретических операций ученых (например, стремление синтезировать или редуцировать группу исследуемых явлений к наименьшей группе, стремление объяснить группу явлений через принятую модель мира и т.д.). Концептуальный уровень оказывается в большой

¹ Sober E. Two uses of unification / The Vienna Circle and Logical Empiricism. Kluwer academic publishers, 2003. С. 206.

² Bunge M. Two Unification Strategies: Analysis or Reduction, and Synthesis or Integration. С. 148–153.

степени абстрактным, поскольку объектом методологического принципа физики выступает знание «о знании» (т.е. знание об элементах и структуре физической теории).

Таким образом, *методологические принципы физики входят в состав методологии (метатеоретический уровень научного познания); в их структуре выделяются следующие уровни: концептуальный, уровень регулятивов и реализации.*

Предложим рабочие определения. *Принцип физического познания* – это концептуальная конструкция, принадлежащая метатеоретическому уровню научного познания, взаимодействующая с физическими теориями; это набор способов построения и регулирования физической теории. Под *принципом унификации*, соответственно, будем понимать способы построения и регулирования физических теорий, направляющие развитие физического познания к объединению, обобщению или отождествлению физических теорий, а также физических, математических и философских элементов этих теорий.

Поскольку мы рассматриваем принцип унификации на уровне физического познания, то далее необходимо рассмотреть также понятие «физический принцип». Можно привести примеры принципов физики: 1) принцип относительности – все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета (специальная теория относительности); 2) принцип Гюйгенса – каждая точка, которой достигло волновое движение, является центром элементарных волн, причем огибающая этих элементарных волн будет волновой поверхностью в следующий момент времени (волновая оптика).

Исследованием физических принципов занимались В. С. Степин и В. П. Бранский. Кратко проанализируем их работы.

По В. С. Степину физические принципы «относятся к типу принципов, в которых характеризуется структура реальности, исследуемой в рамках соответствующей науки»¹. Кроме того, это высказывания, которые фиксируют «корреляции между конструктами картины мира»². Например, в механике Ньютона, на основе которой была создана механическая картина мира, была постулирована мгновенная передача взаимодействия между телами без промежуточной среды – это принцип дальнего действия. В этом принципе содержатся регулятивы, которые структурируют механическую модель мира: отрицается наличие промежуточной среды в передаче силы между телами, передача

¹ Природа научного познания: Логико–методологический аспект. Минск: Изд-во ЛГУ, 1979. С. 194.

² Там же.

силы происходит мгновенно. Экспликацию понятия «теоретический (физический) принцип» В. С. Степин связывает с понятием «картина мира». Под последней он понимает некоторую систему «общих представлений об “устройстве” природы»¹.

В. П. Бранский под физическими принципами понимает совокупность двух видов принципов. Первые – умозрительные принципы. Опишем процесс их генезиса. Вначале происходит идеализация накопленного теоретического материала в виде предельных представлений (например, представление о материальной точке). Затем, наблюдая некоторый образ (гештальт), исследователь заменяет его элементы идеализациями. «Замещая в эмпирическом представлении о рое мошек каждую мошку материальной точкой, получаем модель идеального газа»². Умозрительные принципы являются результатами деятельности воображения.

Вторые – теоретические принципы. Это «умозрительный принцип, позволяющий из множества возможных математических структур выбрать такую, которая является выражением фундаментального теоретического закона»³. Например, с помощью галилеевского принципа инерции Ньютон из множества возможных уравнений движения материальной точки выбрал свое уравнение движения.

Связь физических принципов с картиной мира обуславливает наличие у них концептуального уровня, эвристическая функция указывает на наличие регулятивного уровня. Таким образом, физический принцип обладает совокупностью следующих элементов: концептуальное содержание, связанное с накопленным теоретическим материалом (картина мира); регулятивное содержание. Поэтому, нам кажется, что структуры принципов физического познания и физических принципов схожи.

Рассмотрим, например, принцип дальнего действия Ньютона: мгновенная передача через пустоту взаимодействия между телами. Концептуальный уровень выражен в понятиях, связанных с механической картиной мира: пустота (пустое пространство), тело, сила, тяготение. Регулятивный уровень представлен тем, что принцип выражает высказывание, которое структурирует модель мира, например, принцип дальнего действия отрицает наличие промежуточной среды в передачи силы между телами. Логический

¹ Степин В. С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000. С. 181.

² Бранский В. П. Философские основания проблема синтеза релятивистских и квантовых принципов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. С. 40.

³ Там же. С. 46.

уровень связывает физический принцип (концептуальное содержание) с определенной теорией, в данном случае, с механикой Ньютона.

Один и тот же принцип может быть переформулирован в рамках использующей его теории. Например, при замене элементов концептуального уровня изменяются остальные уровни, и принцип связывается с другой картиной мира и с другой теорией. Возьмем третий закон Ньютона: равенство действия и противодействия. При замещении концептуального элемента «сила тяготения между материальными точками» элементом «сила магнитного взаимодействия между элементами тока» получим принцип Ампера, который связан с электромагнитной картиной мира.

Таким образом, мы приходим к выводу о том, что в структуре физических принципов можно выделить те же уровни, что в структуре принципов физического познания.

Представленная схема согласуется с представлением о методологических уровнях теоретического знания. Например, А. Турсунов писал: «Основание науки представляет собой многоуровневое образование, в котором соответствующие регулятивные принципы располагаются по степени общности. Мысленно расчленив эту иерархическую структуру, можно увидеть, что в нее входят три уровня основоположений. Первый и наиболее общий уровень образуют философские принципы, такие, как принцип единства мира, принцип неисчерпаемости и т.д. Второй уровень составляют метатеоретические принципы, вроде принципа соответствия, принципа простоты и т.д. Третий же уровень состоит из внутритеоретических принципов, то есть тех основоположений, которые непосредственно участвуют в процессе формирования теории. Такова, например, когнитивная функция принципов сохранения, выступающая в качестве организующего и синтезирующего начала любой фундаментальной естественнонаучной теории»¹.

Резюме параграфа

- Определены место и структура методологического принципа физики. Принципы физического познания входят в состав методологии (метатеоретический уровень научного исследования). В их структуре выделяются следующие уровни: концептуальный, уровень регулятивов и реализации.

¹ Турсунов А. Основания космологии // Вопросы философии. 1976. №4. С. 102.

- Основываясь на структуре принципов физического познания, предложена сходная структура физических принципов.
- По итогам разработанных дефиниций зафиксируем связи исследованных принципов при помощи Рисунка 1.



1.3 Взаимосвязь принципов физического познания¹

Стремление к системности физического познания коррелирует со стремлением к системности принципов физического познания²: они представляют взаимосвязанную систему, которая как отражает единство знания, так и направляет к нему. Поскольку принципы физического познания связаны между собой, постольку содержание любого принципа может быть уточнено путем анализа его связей с другими принципами в системе. Исходя из сказанного, следует проанализировать существующие системы принципов физического познания. Таким образом можно уточнить содержание принципа унификации через выявление отношений между ним и другими принципами. *Этой задаче посвящен настоящий параграф.*

Важность задачи определяется тем, что «методологические принципы играют роль регулятора в развитии знания и очерчивают путь к некоторому его идеалу, но только в том случае, если они объединены в некоторую систему, которую можно определить как методологию»³. Отличительная черта зрелой теоретической мысли такой как фундаментальная теория или метатеоретической мысли такой как методология – это

¹ Основное содержание параграфов 1.3 и 1.4 опубликовано: Безлепкин Е.А. Обоснование методологического принципа унификации в теоретической физике. Философия науки. 2012. № 2 (53). С. 78-107.

² см. Карпович В. Н. Системность научного знания. Новосибирск: Наука, 1984.

³ Симанов А. Л., Стригачев А. Методологические принципы физики... С. 3.

системность, т.е. непротиворечивое единство имеющегося знания, к построению которого и стремятся ученые.

Отечественная философия науки несколько раз предпринимала попытки построения системы принципов физического познания. Мы попытаемся эксплицировать эти системы, опираясь на соответствующие научные исследования, при этом будем акцентировать внимание на принципе объединения.

Первая система содержится в коллективном исследовании «Методологические принципы физики»¹. В Таблице 3 представлена экспликация системы принципов физического познания по монографии «Методологические принципы физики». Тезис, связанный с обоснованием системы: «Главным моментом концепции, на котором основаны намеченные здесь обобщения системы принципов физического познания, является предположение о связи этой системы с конкретной структурой физического познания»².

Таблица 3 – Экспликация системы принципов физического познания

уровень знания о математических закономерностях		уровень знания о сущности явлений	
принцип объяснения			
1 методологическое требование единства физического знания (принцип глобальной простоты)			
принцип математизации знания		принцип единства ФКМ	
2 конкретизация принципа единства физического знания (обеспечение «локального» характера единства физического знания)			
принцип симметрии		принцип сохранения	
3 конкретизация требования единства физического знания переход к неклассической физике			
принцип соответствия	принцип наблюдаемости	пр. дополнительности	

Взаимосвязь принципов определяется через цепочечные отношения, т.е. любой из приведенных принципов можно считать образующим, от этого принципа идет порождающая связь к следующему принципу, либо группе принципов. Особенности системы – линейность (нет взаимовлияния) и открытость (возможность добавления принципов в связи с развитием физического познания).

¹ Методологические принципы физики. М.: Наука, 1975.

² Там же. С. 509.

Принцип унификации (единства ФКМ) появляется на одной из ступеней «развития» системы. Он возникает в связи с первым методологическим требованием, вытекающим из принципа простоты и объяснения – это требование глобального единства физической картины мира. Авторы этой концепции указывают, что принцип унификации обеспечивает сущностное единство знания, т.е. является «уровнем знания о скрытом механизме явлений». На наш взгляд, эту функцию несет как раз принцип простоты, поскольку он требует, при прочих равных, минимум принципов для конструирования теории, требует минимизировать число теоретических сущностей. Авторы относят появление принципа унификации (единства ФКМ) к периоду классической физики, что дает право, во-первых, рассматривать его функционирование, начиная с механики Ньютона, а во-вторых, считать его одним из фундирующих принципов для неклассического периода физики.

Вторая система представлена в монографии А. Л. Симанова, А. Стригачева¹. Вначале авторы эксплицируют принцип объяснения посредством других принципов.

Объяснение – «принцип познаваемости мира»:

1. объяснение должно соответствовать опытным фактам (принцип наблюдаемости);
 2. объяснение должно предполагать терпимость по отношению к другим объяснениям рассматриваемого круга фактов (принцип толерантности);
 3. объяснение должно быть максимально простым (принцип простоты);
 4. объяснение должно отвечать тенденции к объединению всех полученных ранее знаний (принцип единства ФКМ).
-

Авторы указывают, что «В свою очередь и принцип объяснения (качественного и количественного), а также определяющие условия познания принципы наблюдаемости, простоты и толерантности с необходимостью ведут к *стратегической цели познания — единой физической картине природы*. Эта картина основана на симметрии, которая объединяет сохранение, относительность и дополнительность в единую симметричную структуру»².

¹ Симанов А. Л., Стригачев А. Методологические принципы физики...

² Там же.

Авторы явно признают эпистемологическую ценность принципа унификации, считая, что он ведет к «стратегической цели познания». Они также подчеркивают, что этот принцип определяется среди прочих принципами объяснения и простоты, поэтому мы считаем, что эта система не противоречит предыдущей. Как и в первой системе, здесь принцип унификации трактуется как принцип единства ФКМ.

Авторская система принципов физического познания, имеющих онтологическое содержание, представлена на Рисунке 2. Приводятся следующие положения, описывающие связи между принципами (эти связи графически отражены на рисунке):

1) соответствие – относительность: утверждение противоположности абсолютному, отрицание возможности достижения абсолютной истины;

2) дополнительность – относительность: отрицание возможности существования абсолютного прибора;

3) симметрия – сохранение: представление симметрии как единства противоположностей — сохранения и изменения;

4) сохранение – относительность: относительность ведет к инвариантности (сохранению) физических законов;

5) сохранение – соответствие: соответствие указывает на необходимость сохранения в форме преемственности (существование инвариантных элементов в процессе познания);

6) сохранение – дополнительность: интерпретация постоянной Планка как закона сохранения через корпускулярно–волновой дуализм.

Графически обозначая связи между принципами, можно построить следующую систему, отраженную на Рисунке 2.

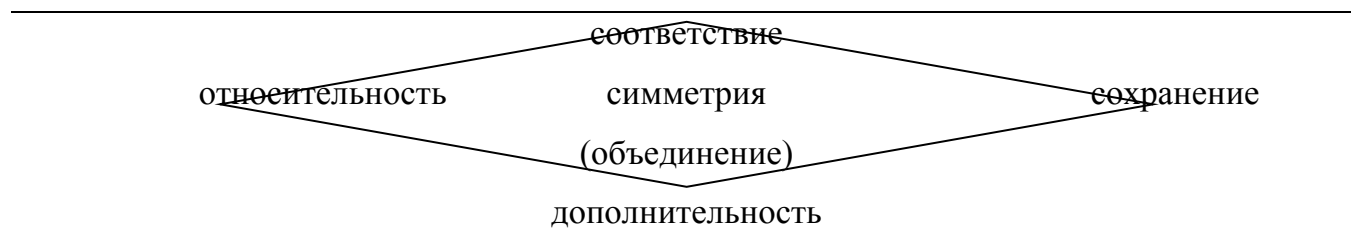


Рисунок 2 – Система принципов физического познания (А. Л. Симанов)

Система наглядно показывает взаимосвязь принципов, в связи с чем отметим следующие ее особенности: цикличность (принципы влияют друг на друга); замкнутость (не ясно, каким образом можно добавлять принципы, которые не вошли в

систему). Эта система, «подтверждая идею единства физического знания, его общий и обобщающий характер, требует поиска общих конструктивных физических принципов и законов. Это означает необходимость построения такой физической теории, которая единообразно объясняла бы весь известный нам физический мир: микро–, макро– и мегакосмос»¹.

Следует отметить взаимосвязь принципа унификации и принципа симметрии. Эта связь выражается в понятии инвариантности: если структура физического закона инвариантна (т.е. сохраняется) относительно некоторого класса преобразований, значит, закон отражает некоторую группу симметрии. Чем более общей является группа симметрии, тем более универсален физический закон. Например, уравнения классической механики инвариантны относительно группы преобразований Галилея, уравнения специальной теории относительности инвариантны относительно группы преобразований Лоренца. При устремлении, например, скорости движения объекта к нулю, группа Лоренца переходит в группу Галилея, отсюда можно заключить, что уравнения СТО включают уравнения классической механики (как предельный случай). Таким образом, принцип симметрии (и связанные с ним принципы относительности и сохранения) связан с принципом объединения.

Последняя система представлена в статье А. Л. Симанова «Опыт разработки системы принципов физического познания естественнонаучного познания – I»². Он рассматривает совокупность принципов физического познания с онтологическим основанием. Система строится на основе выделения степени онтологической «нагруженности» принципов (они располагаются по мере «нарастания» степени).

А. Л. Симанов приводит следующие характерные признаки выделенных принципов:

1. Принцип всеобщего универсального взаимодействия – в природе нет невзаимодействующих объектов (принцип единства мира).
2. Принцип причинности устанавливает пределы влияния двух событий друг на друга.

¹ Там же.

² Симанов А. Л. Опыт разработки системы принципов физического познания естественнонаучного познания – I // Философия науки, 2001. №1.

3. Принцип связи состояний фиксирует момент устойчивости в изменении.
4. Принцип сохранения характеризует “стремление” объекта сохранить свою индивидуальность, делает возможным временное существование объекта.
5. Принцип инвариантности трактуется как новая форма выражения принципа сохранения.
6. Принцип симметрии устанавливает новые формы симметрии и их инвариантность.
7. Принцип относительности – стремление законов быть инвариантными относительно определенных преобразований.
8. Принцип соответствия связан с идеей относительности «как отрицание возможности окончательного достижения абсолютного знания о мире»¹.

На Рисунке 3 представлена система принципов физического познания, построенная по вышеуказанным определениям.

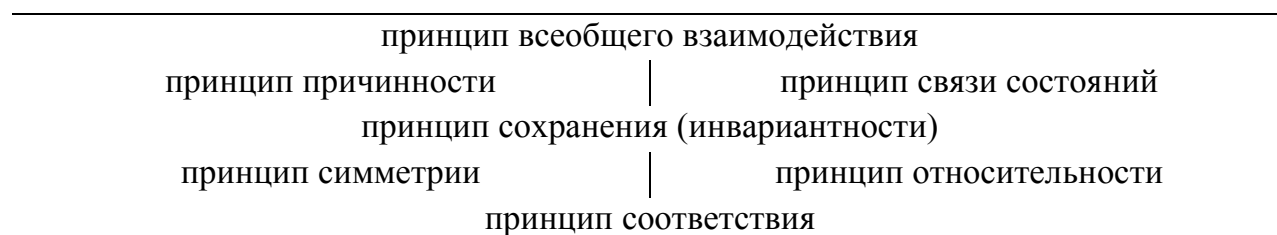


Рисунок 3 – Экспликация системы принципов физического познания

Обоснование схемы: «Анализ развития естествознания позволяет заметить, что по трудному пути к идеалу – единой научной картине мира – его вела идея симметрии, связанная с идеями причинности и сохранения и выросшая в *принцип симметрии*»².

Рассмотренные системы не противоречат друг другу, что является важным условием для возможности построения общей схемы принципов физического познания. Ниже мы ограничимся выделением тех принципов физического познания, которые, в соответствии с рассмотренными системами, имеют непосредственную связь с принципом объединения знания.

¹ Кузнецов И. В. Избранные труды по методологии физики. М.: Наука, 1975. С. 30.

² Симанов А. Л. Опыт разработки системы принципов физического познания естественнонаучного познания – I...

На основании вышеприведенного анализа предложим схему (Рисунок 4).

(*) принцип объединения	
предшествующие принципы:	1 объяснение, 2 всеобщая связь
синхронные принципы:	3 простота, 4 математизация
последующие принципы:	5 симметрия, 6 сохранение, 7 преемственность

Рисунок 4 – Система принципов физического познания с принципом объяснения

Опишем связи принципа унификации с другими принципами.

*–1 Объяснение должно отвечать тенденции к объединению всех полученных ранее знаний.

*–2 Единство картины мира (объединение) возможно при условии всеобщей взаимосвязи явлений.

*–3 Сущностный уровень достижения единства картина мира на основе постулирования единой сущности мира.

*–4 Формальный уровень достижения единства картина мира на основе общности математического языка¹.

*–5, 6 Принципы симметрии и сохранения лежат в основе любой физической теории². Н. Ф. Овчинников писал по этому поводу, что: «Принципы сохранения, образующие класс общих законов, составляют основу единства физического знания»³.

*–7 Объединение требует сохранения в форме преемственности (например, старый математический аппарат должен входить в новый предельным случаем). Отсюда вытекает существование инвариантных элементов в процессе познания, что требует, чтобы принципы сохранения и симметрии лежали в основании любой физической теории, поскольку инвариантность – это сохранение, а симметрия – это единство сохранения и изменения.

¹ см. Tegmark M. The Mathematical Universe. URL: arXiv:0704.0646.

² см. Визгин В. П. Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике. М.: Наука, 1972, Овчинников Н. Ф. Принципы сохранения. М.: Наука, 1966, Nugayev R. A Study of Theory Unification // The British Journal for the Philosophy of Science. 1985. № 2 (36).

³ Овчинников Н. Ф. Принципы теоретизации знания. М., 1996. С. 125.

Резюме параграфа

- Проанализированы системы принципов физического познания, предложенные в отечественной философии науки. На основании их анализа предложена схема, отражающая связи принципа унификации и наиболее близких к нему принципов.
- Схема принципов физического познания связывает принцип унификации с принципами всеобщей связи и объяснения (как предшествующими ему), а также с принципами простоты и математизации (как синхронными ему).
- Описанные связи принципов могут быть интерпретированы как требования, которые принцип унификации накладывает на физические теории.

1.4 Аспекты принципа унификации знания

Среди уровней научного познания обычно выделяют эмпирический, теоретический и метатеоретический¹. Принципы физического познания можно отнести к метатеоретическому уровню знания. *Дальнейшая задача заключается в том, чтобы выявить сущность и содержание принципа унификации.* Говоря конкретно, необходимо выявить основные аспекты принципа унификации знания, среди которых структура, реализация принципа, аксиологическая роль.

Можно предложить следующий алгоритм исследования сущности и содержания методологического принципа физики.

1) *Структурный анализ принципа и включение его в систему принципов*². Эта процедура подразумевает, что стремление к системности физического познания коррелирует со стремлением к системности и принципов физического познания. В соответствии с этим мы стремимся определить принцип унификации как сам по себе, так и в системе.

¹ Лебедев С. А. Уровни научного знания // Вопросы философии. URL: http://vphil.ru/index.php?id=97&option=com_content&task=view.; Швырев В. С. Теоретическое и эмпирическое в научном познании. М.: НАУКА, 1978.

² Постулаты структурного метода см. Черняк В. С. История. Логика. Наука. НАУКА, 1986.

2) *Выявление методологической роли и способов реализации принципа в истории физического познания.* Как пишет Э. М. Чудинов: «Лишь рассмотрев генезис научной теории, можно установить применение принципов физического познания в явном виде, раскрыть их связь с опытом»¹.

3) *Определение аксиологической роли (значимости) принципа.* Для этого воспользуемся сопоставлением высказываний о единстве и системности физики из работ физиков и философов.

Приведенный алгоритм согласуется с системой процедур обоснования единиц метатеоретического уровня научного знания, которые состоят «1) во включении в систему общенаучного и философского знания; 2) в показе возможности их использования для интерпретации, обоснования и развития теоретического научного знания; 3) в определении их мировоззренческого потенциала и значения для развития философского знания»².

1.4.1 Структура принципа

Схема принципов физического познания, полученная в предыдущем параграфе, связывает принцип унификации с принципами всеобщей связи и объяснения (как предшествующими ему), а также с принципами простоты и математизации (как синхронными ему).

Следующие подпараграфы нацелены на уточнение структуры принципа унификации через исследование его взаимосвязей с перечисленными принципами.

Унификация и принцип всеобщей взаимосвязи

Принцип всеобщей взаимосвязи, по нашему мнению, – это фундаментальный (т.е. лежащий в основе многих методологических и физических принципов) метафизический (т.е. не поддающийся прямой проверке) эвристический принцип, утверждающий универсальность понятия взаимной связи между объектами и процессами. Этот принцип

¹ Чудинов Э. М. Природа научной истины. М.: Политиздат, 1977.

² Лебедев С. А. Философия науки: Терминологический словарь. М.: Академический Проект, 2011. С. 111-112.

наиболее тесно связан с принципами математизации, объединения, объяснения, причинности, опосредовано с другими.

Важнейшая категория этого принципа – взаимосвязь (на языке физики – взаимодействие). Так, например, Б. Г. Кузнецов пишет, что «Гравитационные силы связывают все без исключения тела природы, они являются не специфическим, а общим взаимодействием, законы тяготения определяют отношение материи к пространству и всех материальных тел друг к другу. Тяготение создает в этом смысле реальное единство Вселенной»¹. Гравитационному взаимодействию подчиняются как фермионы, так и бозоны, т.е. в принципе вся материя. Отметим, что описать универсальный закон гравитации наука на сегодняшний день не может, потому что, во-первых, нет универсального решения уравнения Эйнштейна, во-вторых, в пределах микромира возникает проблема квантования гравитации (в связи с принципом неопределенности)².

Взаимодействия между частицами передаются физическими полями. Вещество и поле тоже взаимосвязаны. Например, «было обнаружено, что если энергия кванта электромагнитного поля достигает определенной величины, т.е. превышает собственную энергию позитрона и электрона, и такой квант сталкивается с ядром, то в результате рождается электрон в паре с позитроном. Этот эксперимент свидетельствует о превращении поля в вещество. Возможен и обратный процесс»³. Таким образом, вводится понятие квантованных полей (например, в квантовой электродинамике электромагнитное взаимодействие рассматривается как поток фотонов (частиц–переносчиков этого взаимодействия)). Взаимодействие связано с другим атрибутивным свойством материи – взаимопревращаемостью.

Всеобщая связь явлений мира предполагает его единство в том смысле, что если существует объект, который не связан ни с каким другим объектом, то обнаружить его невозможно, такого объекта «нет». Всеобщая связь может быть выражена качественно (через понятие метаоснования) или количественно (через математические понятия, например, понятия функции и меры).

¹ Кузнецов Б. Г. Пути физической мысли. М.: Наука, 1968. С. 170.

² Smith S. Models and the Unity of Classical Physics: Nancy Cartwright's Dappled World // Philosophy of science. 2001. № 4. P. 470.

³ Грибанов Д. П. Материальное единство мира в свете современной физики. М.: Мысль, 1971. С. 125.

Метаоснования – постулаты о структуризации внешнего мира, которые мы выражаем через свойства философских категорий, таких как материя, пространство, время, движение и так далее. Например, говоря, что материя дискретна (состоит из атомов) или непрерывна (состоит из поля), мы вводим метаоснование, отсылающее нас к той или иной физической картине мира. Метаоснования отражают достигнутый уровень осмысления мира и понимания взаимосвязи происходящих в нем явлений. Соединяя те или иные метаоснования, мы создаем миропонимание.

Функция – зависимость одной измеряемой величины от другой. Величина – это свойство, общее в качественном отношении для объектов, состояний и процессов, но индивидуальное в количественном отношении для них. Функция единообразно описывает (объединяет) разнокачественные объекты. Так, через понятие обобщенной координаты можно единообразно описать как механические, так и, по аналогии, электрические системы.

С понятиями «метаоснование» и «функция» связываются качественный и количественный аспекты принципа объяснения. Таким образом, в онтологии принцип всеобщей связи представляет собой взаимосвязь метаоснований, в гносеологии – взаимосвязь математических моделей описания качественных объектов, в аксиологии – взаимосвязь единого объекта исследования, как противостоящего единому субъекту познания.

Отметим связь принципа всеобщей связи с понятием закона. Устойчивые, существенные и повторяющиеся связи образуют закон, поэтому любой закон – это отражение принципа всеобщей связи. Перечислим некоторые фундаментальные физические законы, наиболее ярко отражающие этот принцип.

Во-первых, преобразования Лоренца. Они соединяют пространственные и временную координаты, утверждая взаимосвязь между ними. Они стали основой для формирования концепции единого пространства–времени. Суть заключается в том, что фундаментальные уравнения физики (такие, как уравнения Максвелла, уравнение Дирака, волновое уравнение) оказываются лоренц–ковариантны, т.е. имеют одинаковую структуру при преобразованиях пространственно–временных координат. Ковариантность является свойством уравнений, позволяющим сохранить принцип относительности, который постулирует единообразие физических процессов в различных системах отсчета. Таким образом, преобразования Лоренца и их физическая

интерпретация стали существенным шагом к демонстрации всеобщей связи процессов и явлений (в данном случае оказались связанными разделенные Ньютоном пространство и время).

Во–вторых, принцип корпускулярно–волнового дуализма и его математическая интерпретация в формуле де Бройля: $\lambda = h / p$.

В этой формуле объединяются математические величины, характеризующие метаоснования дискретности (частицы и кванты – p) и непрерывности (поля и волны – λ). Таким образом, любой материальный объект может проявлять как волновые, так и корпускулярные свойства.

В–третьих, принцип дополнительности, сформулированный Н. Бором. Принцип утверждает, что для полного описания квантовых явлений следует применять два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий. Их совокупность дает полную информацию о квантовых явлениях. Например, дополнительными являются пространственно–временная (дискретная) и энергетическая (непрерывная) картины. С философской точки зрения принцип утверждает единство (взаимосвязь) качественного и количественного описаний явлений как условие их познаваемости.

Таким образом, объединение в физике оказывается возможным в виду имплицитного принятия принципа всеобщей взаимосвязи. Само же объединение происходит в качественной (через физическую картину мира) или в количественной (через математическую структуру) форме.

Унификация и принцип математизации знания

В согласии с В. Н. Карповичем, мы будем выделять два типа процессов математизации в науке и, соответственно, два вида принципа математизации – слабый и сильный. Первый состоит том, что математические средства и методы составляют отдельную и независимую сущность наряду с научной теорией, к разработке которой они применяются. Второй состоит в том, что «концептуальные структуры математики составляют основу теоретических построений, т.е. когда математический формализм принципиально неустраним, относительно независим от придаваемых ему

содержательных интерпретаций, а формальные преобразования составляют самостоятельный неэмпирический источник развития знания»¹.

Например, в механике Ньютона до интеграции ее с аппаратом дифференциального исчисления мы можем наблюдать слабую математизацию. Ньютоновские представления о времени и пространстве, по сути, представляют собой наследование и развитие античных и средневековых представлений. В связи с этим Б. Г. Кузнецов замечает, что «математическое (как и логическое) обобщение интегральной концепции Аристотеля открывало дорогу дифференциальному механическому объяснению. В XVII в. математическое обобщение механических понятий Ньютона открывало дорогу дифференциальному представлению о распространении тяготения и воздействия тел вообще»².

С аналитической механики Лагранжа и теории электромагнетизма Максвелла начинается реальное соединение математического аппарата и научной теории³. Например, такие понятия векторного анализа как ротор или дивергенция из электродинамики неустранимы.

В современной науке принцип математизации существует как в сильной, так и в слабой форме. Важнейшие научные понятия, например, понятие меры или функции – математические, поэтому без использования хотя бы математических пропорций или зависимостей никакое исследование невозможно. Например, в теоретической физике сильная математизация – это необходимое условие существования этой науки. С этой точки зрения «физическая теория есть прежде всего совокупность теоретических законов, выраженных в форме математических уравнений и отображающих сущность некоторой области физических явлений»⁴.

То есть существует два слоя в физической теории: физическая модель мира (модель реальности, или теоретическая схема, по В. С. Степину) и уравнения (математический формализм), которые подвергаются физической интерпретации, причем эти слои взаимообусловлены. Поскольку математический аппарат без физической интерпретации представляет собой «голую» схему, принято считать, что он,

¹ Карпович В. Н., Бондаренко Т. М. Диалектика содержания и формы в процессе математизации науки. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. С. 47.

² Кузнецов Б. Г. Пути физической мысли. С. 173.

³ см. Клайн М. Математика. Поиск истины. М.: Мир, 1988. С. 164, 167.

⁴ Природа научного открытия. М.: НАУКА, 1986. С. 278.

по сравнению с физической моделью, не обладает содержанием и считается формой. В. Н. Карпович подчеркивает, что это не так: математический формализм в некотором роде тоже содержателен. Так, «аппарат математики содержательно развивался в русле фундаментальных философских установок: идея непрерывности пространства через геометрические и механические понятия породила дифференциальное и интегральное исчисление, идея дискретности лежала в основе арифметики, эволюционировавшей от натурального ряда чисел до матричной алгебры»¹. Поэтому математический формализм крепко связан с физической моделью исследуемой реальности. В связи с этим, следует подчеркнуть, что математический аппарат теснейшим образом связан с понятием преимственности в науке, а также с понятием метаоснований.

Что касается функций принципа математизации в физической теории, то, на наш взгляд, синтезирующая и редуцирующая функции являются основными. Например, не только с помощью гидродинамических аналогий, но и с помощью математического формализма векторного анализа Максвелл пришел к убеждению, что свет представляет собой электромагнитную волну и свел оптику к электромагнетизму (редукция). Шредингер разрабатывал идеи волновой механики, используя аппарат дифференциальных уравнений (а также принцип наименьшего действия). Этот аппарат обобщал законы классических идей дискретности и непрерывности. Распространив оптико–механическую аналогию, открытую Гамильтоном, на случай волновой оптики, он показал, что любое движение частиц подобно явлению распространения волн и вывел уравнение, являющееся основой волновой механики (уравнение Шредингера – своеобразный синтез механики и оптики).

Принцип математизации связан с тенденцией объединения знания, что можно продемонстрировать с помощью динамических аналогий. Это метод представления явлений и процессов одной системы через явления и процессы другой системы. Так, например, в механической системе понятию «скорость» соответствует понятие «сила тока» в электрической системе. Через функцию Лагранжа и обобщенные координаты на основе динамических аналогий мы получаем ковариантные дифференциальные уравнения. В. И. Ленин по этому поводу писал, что: «Единство природы

¹ Карпович В. Н., Бондаренко Т. М. Диалектика содержания и формы... С. 46.

обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений»¹.

Нам кажется, что общность математического формализма, использующегося для исследования разных аспектов реальности, зачастую говорит о некоторой общности физических процессов, стоящих за этим формализмом.

Подытожим анализ высказыванием Л. И. Мандельштама: «Классическая физика большей частью шла так, что установление связи математических величин с реальными вещами предшествовало уравнениям, т.е. установлению законов, причем нахождение уравнений составляло главную задачу, ибо содержание величин заранее предполагалось ясным и для них искали уравнения... Теперь прежде всего стараются угадать математический аппарат, оперирующий величинами, о которых или о части которых заранее вообще не ясно, что они обозначают»².

Унификация и принцип простоты научного знания

Существуют по меньшей мере два подхода к проблеме простоты научного знания (они связаны с идеей единства и идеей разобщенности). Первая группа ученых склоняется к возможности объединения физических теорий и созданию «окончательной теории», которая станет наиболее общей и в этом смысле наиболее простой теорией. «Согласно взглядам многих естествоиспытателей, идея простоты природы имеет еще оттенок, близкий к концепции единства природы и основывающийся на убеждении в том, что нечто единое всегда можно выразить с помощью «единственного» определения. Со времен Лапласа эта идея получила выражение в постулировании возможности сформулировать, по крайней мере в принципе, некоторую универсальную мировую формулу»³.

Вторая группа ученых считает, что мир состоит из несводимых уровней организации материи, поэтому эта группа принимает программу «эффективных теорий». «Эта программа предполагает бесконечную и несводимую к некоему конечному состоянию серию теорий, каждая из которых является справедливой лишь

¹ Ленин В. И. Полное собрание сочинений. Т.18. М.: Политиздат, 1973. С. 277.

² Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972. С. 329.

³ Костюк В. Н. Роль принципа простоты в естественнонаучных теориях // Вопросы философии, 1964, №5.

для одного из уровней организации материи. Предполагается, что эти уровни связаны между собой каузально и являются, таким образом, лишь квазиавтономными. Тем не менее законы, управляющие поведением объектов на разных уровнях, не сводимы друг другу»¹.

Идея единства и простоты принимается, таким образом, лишь первой группой ученых. Например, Дэвис пишет, что «Три особенности Вселенной – однородность, самосогласованность и простота – позволяют говорить о Вселенной как едином целом»².

Например, «Эйнштейн считал, что, говоря о простоте описания, следует иметь в виду не аналитическую простоту используемого математического аппарата и не простоту теоретических моделей, а содержательную простоту теоретической системы в целом. Теория тем проще, чем меньше содержательных идей и принципов лежит в ее основе и чем больше при этом предметная область»³. Т. е. простота понимается как наименьшее число посылок. Л. Б. Баженов писал, что «присущая научной теории тенденция к принципиальной простоте находит прежде всего выражение в объяснении возможно более широкого круга явлений из возможно меньшего числа независимых допущений без введения произвольных гипотез *ad hoc*, а это и есть не что иное, как выражение синтезирующей функции теории»⁴. То есть примерно та же точка зрения. Однако здесь подчеркивается связь простоты и синтеза (объединения). Простота – это синтез к наименьшему числу оснований с наибольшим числом выводов.

С другой стороны, Э. В. Ильенков писал, что эволюция понимания происходит «в направлении все более охватывающего (общего) и в то же время все более конкретного отражения одного и того же объекта»⁵. Принцип простоты в этом смысле – эвристический принцип, который характеризует направленность развития физического знания в направлении к большей общности и одновременно большей конкретности в схватывании объясняемых объектов. Принимая сказанное, мы можем считать регулятивом принципа простоты следующую формулу: «*при прочих равных условиях* (выделено нами – Е. Б.) теория считается тем проще, чем меньше было использовано

¹ Мамчур Е. А. Идея единства и простоты научного знания. URL: <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000702/>.

² Дэвис П. Суперсила. М.: Мир, 1989. С. 229.

³ Природа научного открытия. М.: НАУКА, 1986. С. 277.

⁴ Баженов Л. Б. Строение и функции естественнонаучной теории // Синтез современного научного знания. М.: Наука, 1973. С. 419.

⁵ Ильенков Э. В. Диалектическая логика: Очерки истории и теории. М.: Политиздат, 1984.

независимых «основополагающих утверждений» при ее построении»¹. Отметим, что необходим баланс между числом исходных посылок и числом выводных эмпирических следствий. Например, в механике Г. Герца меньше метаоснований, чем в механике Ньютона или Лагранжа, но вывод тех же следствий сложнее в связи с усложнением математического аппарата. Если рассмотреть механику Ньютона и принцип Гамильтона, то мы увидим, что последний в плане принимаемых постулатов «проще» и одновременно с этим применим к немеханическим системам: из обеих теорий в равной степени выводятся все следствия механики.

Следует сказать несколько слов о связи принципа простоты и понятия аксиоматизации. Эту связь можно метко охарактеризовать высказыванием Д. Гильберта: «Для того, чтобы построение физических аксиом провести по образцу аксиом геометрии, следует попробовать сначала небольшим количеством аксиом охватить возможно более общий класс физических явлений, а затем присоединением каждой следующей аксиомы прийти к более специальным»². В связи с этим кажется важным согласование и минимизация принципов и аксиом физической теории.

Можно подытожить рассуждения цитатой А. Эйнштейна и Л. Инфельда: «Чем проще и фундаментальнее становятся наши допущения, тем сложнее математическое орудие нашего рассуждения; путь от теории к наблюдению становится длиннее, тоньше и сложнее. Хотя это и звучит парадоксально, но мы можем сказать: современная физика проще, чем старая физика, и поэтому она кажется более трудной и запутанной. Чем проще наша картина внешнего мира и чем больше фактов она охватывает, тем резче (конкретнее – Е. Б.) отражает она в наших умах гармонию Вселенной»³. Последнее утверждение можно перефразировать в формулу: «простота идей».

Таким образом, принцип простоты проявляется внутри теории как на качественном уровне (стремление выбрать минимум исходных принципов), так и на количественном уровне (стремление подобрать адекватный по сложности математический аппарат).

¹ Костюк В. Н. Роль принципа простоты...

² Гильберт Д. Математически проблемы // Проблем Гильберта. М.: Наука, 1969. С. 35.

³ Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М.: Наука, 1965.

Унификация и принцип объяснения

Под объяснением в философии обычно понимают, во-первых, «подведение под общий закон, который фиксирует связь изучаемого явления с другим»¹, как например, в модели К. Гемпеля; во-вторых, установление причины, причинного механизма, внутренней структуры, приводящей к появлению события, например, модель В. Салмона². Первый подход можно назвать редукционизмом, второй напоминает гипотетико-дедуктивную модель. Обе модели рассмотрены в статье Фридмана³.

Ученые-физики также имеют свою точку зрения на то, что считать объяснением. Рассмотрим некоторых представителей классической физики.

И. Ньютон писал: «Вся трудность физики, как будет видно, состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления... Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы, рассуждая подобным же образом»⁴. Ньютон задает программу редукции явлений природы к механическим явлениям и причинам, т.е. программу объяснения по аналогии с механическими объяснениями, которые представляются ясными и наглядными.

Последователи Ньютона и следующие поколения ученых восприняли его программу. Так, например, В. Томсон широко использует механические аналогии для построения теории электромагнитных и оптических явлений. По словам Томсона «объяснить явление – значит построить его механическую модель»⁵.

Процесс построения аналогий может идти двумя способами. Первый – через гипотетические принципы строить аналогии и пытаться вывести уравнения теории (Ферма и Томсон). То есть сначала гипотеза и аналогия, потом математическое обобщение. Второй – математическая обработка некоторого эмпирически проверяемого принципа и вывод аналогии из математической формы (оптико-механическая аналогия Гамильтона). То есть сначала математическое обобщение опытного принципа, затем аналогия, если такая находится. Во втором способе объяснение мыслится иначе:

¹ Сторожук А. Ю. Пределы науки. Новосибирск, 2005. С. 138.

² Scientific explanation. Minneapolis: Univ. of Minnesota press, 1989. Также см. Forster M. Unification and Scientific Realism Revisited // Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. 1986.

³ Friedman M. Explanation and scientific understanding // The journal of philosophy. 1974. №1.

⁴ Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989.

⁵ Дуков В. М. Электродинамика. М.: Высш. школа, 1975. С. 127.

«объяснение физических явлений, по Гамильтону, происходит в процессе математической обработки данных наблюдения и создания особого мира математических символов, который призван как-то представить нам эти явления»¹.

Про понимание объяснения Дж. Максвеллом В. Карцев писал: «Максвелл всегда считал, что механическая модель лишь в самых общих и простых чертах отражает исследуемые процессы и явления природы. Любой механический образ, по Максвеллу, отражает природу отнюдь не тождественно, а с определенной степенью приближения, отражает лишь одну сторону ее свойств. Механические модели, механические представления играли у Максвелла роль рабочих гипотез, конструкций, помогающих изобразить сложные предметы и явления гораздо проще и наглядней»². Сам Максвелл писал, например, следующее: «я хочу только направить мысль читателя на механические явления, которые могут помочь ему понять электрические явления. Все подобные выражения... должны рассматриваться как иллюстративные, а не как объясняющие»³.

Таким образом, на протяжении истории классической физики идеалом объяснения считалось построение наглядной модели изучаемого явления (понятия «наглядность» сливалось с понятием «механическая модель», поскольку последняя напрямую связана с человеческим опытом). Наглядными, в свою очередь, являются только движения и соударения тел. В этом смысле, например, понятие «классическое физическое поле» не является полностью наглядным. Классический идеал объяснения в физике наиболее отчетливо сформулировал Б. Г. Кузнецов. Он пишет: «Идеалом науки будет концепция природы, объясняющая всю совокупность явлений только движениями и взаимодействиями тел»⁴.

Однако с появлением позитивизма и неклассической физики классический идеал объяснения постулируется как несбыточный. Крайней точкой зрения становится отказ от понятия объяснения. Например, П. Дюгем пишет: «Физическая теория не есть объяснение. Это система математических положений, выведенных из небольшого числа

¹ Карпович В. Н., Бондаренко Т. М. Диалектика содержания и формы... С. 51.

² Карцев В. П. Максвелл. М.: Молодая гвардия, 1974.

³ Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М., 1954. С. 300.

⁴ Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. М.: НАУКА, 1966. С. 162.

принципов, имеющих целью выразить возможно проще, полнее и точнее цельную систему экспериментально установленных законов»¹.

Однако идеалы науки не изменяются скачкообразно, что видно на примере постепенного отказа от классического идеала объяснения (вспомним, например, принцип дополнительности Н. Бора). Интуитивное понимание, без которого невозможно исследование требует интуитивных понятий, которые всегда будут классическими (т.е. наглядными и отчасти механическими).

Современная наука, тем не менее, все дальше уходит от классического объяснения. Например, Р. Фейнман пишет: «Интересно, что модели очень часто помогают в работе, и большинство преподавателей физики пытаются учить тому, как пользоваться моделями, чтобы выработать хорошую физическую интуицию. Но всегда выходит так, что величайшие открытия абстрагируются от модели и модель оказывается ненужной. Максвелл создал электродинамику, наполнив пространство массой воображаемых шестеренок и зубчатых колесиков, но колесики и шестеренки мы отбросили, а теория осталась»².

Учитывая изложенные мнения, мы можем классифицировать виды объяснения в современной науке. Во-первых, классическое, наглядное объяснение. Во-вторых, математическое объяснение – «установление регулярных зависимостей между физическими величинами, причем таких зависимостей, которые позволяют предвычислять, предсказывать результаты измерений»³.

Что касается связи объяснение – объединение, то объяснение возможно через объединение (редукцию или синтез) исследуемых физических явлений⁴. В этом плане дополнительность качественного (физическая картина мира) и количественного (математизация и математическая интерпретация физической картины мира) описания порождает объяснение. По этому поводу приведем цитату Фридмана: «Для примера, законы Ньютона являются хорошим кандидатом для объяснения закона Бойля, потому что законы Ньютона редуцируют (сокращают) набор независимо принимаемых следствий – набор, содержащий закон Бойля, закон Грэхэма»⁵.

¹ Дюгем П. Физическая теория. М.: КомКнига, 2007. С. 25.

² Фейнман Р. Характер физических законов. М.: Мир, 1968.

³ Методологические принципы физики. – М.: Наука, 1975. С. 31.

⁴ Schurz G. Explanation as unification // Synthese. 1999. № 120.

⁵ Friedman M. Explanation and scientific understanding. С. 17.

Заслуживает внимания унификационная модель научного объяснения Ф. Китчера¹. Вкратце, она сводится к следующему. Успешное объяснение – это некоторая объяснительная история (нарратив), т.е. группа или набор семантически связанных предложений, составляющих объединенное множество предпосылок для объяснения из разрозненных фактов. Китчер пишет, что «объяснительная история, связанная с наукой в определенное время, содержит те начала, которые вместе обеспечивают наилучшую систематизацию наших вер»². В качестве объяснительной истории он ссылается, например, на эволюционную теорию.

Интерпретируя модель Китчера, мы можем говорить, что физическая картина мира в истории физики – это объяснительный нарратив, который объединяет разрозненные объясняемые факты в одно качественное целое. Последующий количественный анализ картины мира позволяет описывать факты как законы на языке математики.

Синтез аспектов

В настоящем параграфе следует объединить в систему рассмотренные выше аспекты принципа унификации в физике. В параграфе 1.2. разработано общее понятие принципа физического познания: выявлена структура, установлена связь с понятием «метод». В параграфе 1.3. составлена схема, отражающая связи принципа унификации с наиболее «близкими» ему принципами объяснения, всеобщей связи, простоты и математизации. В параграфе 1.4 исследованы связи этих принципов. *Теперь следует объединить рассмотренные выше аспекты для построения структуры принципа унификации.*

Принципы физического познания содержат три уровня: предметно-концептуальный, уровень регулятивов и уровень реализации. Рассмотрим подробнее каждый из них.

Первый, концептуальный уровень принципа, включает следующие *основания*:

1) основание всеобщей взаимосвязи явлений (например, гравитационное взаимодействие, феномен квантовой запутанности). Перерастает в метафизический постулат единства мира на сущностной или формальной основе (постулаты 2 и 3);

¹ Kitcher P. Explanatory unification and the causal structure of the world // Scientific explanation. 1989. PP. 410–505.

² Сторожук А. Ю. Пределы науки. Новосибирск, 2005. С. 126.

- 2) основание математизации знаний (единство физических теорий на основе математического языка (формализма));
- 3) основание простоты (минимальное количество принципов и оснований физической теории при прочих равных условиях);
- 4) принцип объяснения (количественный и качественный аспекты принципа согласуются с постулатами 3 и 4);
- 5) принцип сохранения (выражается по меньшей мере в законах сохранения и принципах инвариантности).

Выделенные основания могут быть квалифицированы как онтологические, гносеологические или аксиологические. Основания 1, 2, 3 являются как онтологическими, так и гносеологическими, в зависимости от аспекта. Основание 5 является онтологическим¹. Гносеологические основания включают комплекс принципов, дающих ориентир в познавательной деятельности, совокупность методов научного познания. Сюда относится 4. Принцип объяснения следует включить в принцип унификации, потому что одна из целей единой теории – это построение фундаментальной онтологии, то есть объяснения устройства мира на всех структурных уровнях (микро–, макро– и мегауровне). Принципы сохранения постулируют существование инвариантных процессов (например, закон сохранения энергии связан с однородностью времени) и являются фундаментом любой физической теории.

Представим взаимосвязи оснований на Рисунке 5.

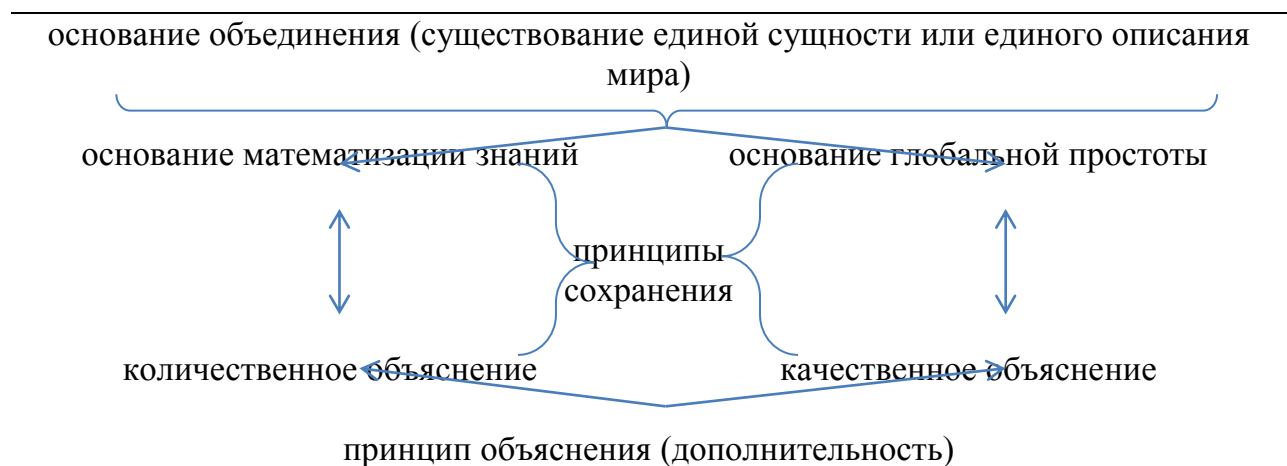


Рисунок 5 – Первый уровень методологического принципа унификации

¹ Bergmann G. Physics and Ontology // Philosophy of Science. 1961. № 1 (28). P. 1–14.

Схема читается следующим образом. Стремление к единой теории (к единому объекту познания) основано, во-первых, на общности математического языка применительно к различным областям познания (например, аппарат дифференциального исчисления, теория групп) и, во-вторых, на возможности формулировать физические теории, используя примерно один и тот же минимальный набор физических и философских принципов (например, принцип наименьшего действия). Эти два аспекта – простота и математизация – находят отражение в принципе объяснения: дополнительность качественного (физическая картина мира) и количественного (математизация и математическая интерпретация физической картины мира) описания порождает объяснение, причем оно должно отвечать тенденции к объединению всех полученных ранее знаний. Эта познавательная деятельность направлена на открытие или разработку физических законов. Формулирование физических законов возможно потому, что существуют инвариантные элементы в процессе познания (сохраняющиеся величины). Это положение требует, чтобы принципы сохранения и симметрии лежали в основании любой физической теории. Таким образом, «Общий закон сохранения, конкретизируемый в виде различных частных физических законов сохранения, лежит в основе единой физической картины мира»¹. Более конкретно: «Когда природа исключает какое-либо явление, ее предписание часто принимает форму какого-нибудь закона сохранения»².

Второй и третий – уровень регулятивов и уровень реализации принципов физического познания – это те уровни, проявление которых фиксируется в научных тестах в виде теоретических операций ученых–исследователей. Например, стремление синтезировать или редуцировать группу исследуемых явлений к наименьшей группе причин, стремление объяснить группу явлений через разработанную модель мира и т.д.

Уровень реализации связан с уровнем регулятивов, который взаимодействует с нормами и идеалами науки в целом. Нормы и идеалы обладают известной долей преемственности («инертности»), поэтому не меняются скачкообразно. Отсюда становится возможным говорить о некоторых инвариантах в процессе теоретического исследования (стремлении ученого следовать за предшественниками, развивать и уточнять их взгляды).

¹ Симанов А. Л., Стригачев А. Методологические принципы физики: общее и особенное...

² Гелл–Манн М. Элементарные частицы // Успехи физических наук. 1958. №2. С. 406.

На втором уровне принципа унификации отметим следующие регулятивы:

1) регулятив математизации: стремление к математизации как к универсальному способу придать законам природы универсальный и единообразный характер, претендующий на единство знания;

2) регулятив простоты: стремление к простоте («внутреннему совершенству» (критерий А. Эйнштейна). Формально это означает, что для построения теории следует выбирать минимум оснований при прочих равных условиях. Помимо этого, следует отметить, что эстетические качества теории (красота, естественность) становятся значимыми физическими предпочтениями;

3) регулятивы соответствия:

3.1) апелляция к сущностному единству физических явлений (Новая теория должна синтезировать старые, т.е. предыдущие теории должны быть предельным случаем новой. Так, кинетическая теория материи вскрыла общность механических и тепловых явлений; теория относительности имеет предельным случаем механику Ньютона.);

3.2) требование непротиворечивости и преемственности теорий (Новые теории всегда сохраняют часть понятий старых теорий; при этом сохраненные понятия не должны вступать с новыми понятиями в противоречие.);

4) регулятив дополнительности (возможность синтеза взаимоисключающих понятий и стоящих за ними явлений дает исчерпывающее знание о них) – приближение к истинному описанию мира.

Регулятивы можно описать с помощью Рисунка 6, который структурно аналогичен Рисунку 2. (Чтение схемы также аналогично описанию Рисунка 5.)



Рисунок 6 – Второй уровень методологического принципа унификации

Третий уровень – реализации принципа унификации – содержит по меньшей мере следующие компоненты.

1) Принцип реализуется в виде анализа (аспектуального выделения) и последующей редукции, либо синтеза элементов (физических, философских, математических) физической теории – это внутритеоретическая функция. По поводу этой функции приведем слова Л. Б. Баженова: «Теория всегда создается для упорядочивания огромной массы эмпирического материала, выступает как синтез этого материала. Теория, которая была бы столь же сложна, как сам эмпирический материал, была бы лишена всякого объективного смысла и эвристической ценности»¹.

2) На уровне физических теорий унификация реализуется, во-первых, в виде редукции существующих физических теорий к общему основанию (наиболее перспективной теории). Например, сведение теории оптических явлений к теории электромагнитных явлений. Во-вторых, в виде синтеза физических теорий. Например, объединение специальной теории относительности и электродинамики в релятивистскую электродинамику. В-третьих, в виде обобщения физических принципов или математического аппарата физической теории. Например, обобщение математического (евклидова) пространства классической механики на математическое пространство теории относительности (псевдоевклидово в специальной теории относительности и риманово в общей теории относительности). Подтвердим сказанное словами Л. Б. Баженова: «Фундаментальные теории, возникая на более или менее ограниченной основе нового эмпирического материала, затем начинают проникать в сферу компетенции других уже существующих теорий (научных дисциплин), вызывая их более или менее радикальную перестройку»². Например, после создания квантовой механики, к ней попытались свести химию.

3) На философском уровне познания унификация реализуется в формировании физических картин мира. Картины мира основаны на концептуальном ядре фундаментальных физических теорий, которые экстраполируют свои методы на уже существующие теории и на исследования новых областей. М. В. Мостепаненко замечает, что «главная тенденция каждой физической картины мира – дать единое

¹ Баженов Л. Б. Структура и функции естественнонаучной теории. М.: Наука, 1978. С. 418.

² Там же. С. 419.

стройное отражение объективной действительности»¹. Как пишет Л. Б. Баженов: «Наиболее значительные теории всегда бывают связаны с выдвижением некоторых фундаментальных идей, оказывающих огромное влияние на формирование стиля мышления данной эпохи»².

Резюме параграфа

- Тенденция унификации физических теорий рассмотрена как принцип физического познания в рамках концепции методологических принципов физики.
- Раскрыто содержание всех уровней принципа унификации (выявлены концептуальные основания, регулятивы, формы реализации).
- Принцип унификации основан на принципах всеобщей взаимосвязи, объяснения, простоты, математизации, сохранения. Он отражает стремление к единой теории, которое основано либо на общности математического языка описания реальности, либо на возможности формулировать физические теории, используя минимальный набор физических и философских принципов. Эти два аспекта – математизация и простота – находят отражение в принципе объяснения: дополнительность качественного (физическая картина мира) и количественного (математическая интерпретация) описания.

1.4.2 Функции принципа

В предыдущем параграфе был проведен структурный анализ принципа унификации. *Теперь следует выявить, во-первых, его место в структуре научного знания, во-вторых, уточнить способы, с помощью которых он функционирует (реализуется) в физическом познании (в физических теориях).* Подобная постановка вопроса необходима для анализа физических теорий, который будет проведен во второй главе работы.

Как правило, выделяют следующие уровни научного знания: эмпирическое, теоретическое и метатеоретическое. В контексте работы эмпирический уровень нас не

¹ Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. Л.: Наука, 1969.

² Баженов Л. Б. Структура и функции естественнонаучной теории. С. 178.

интересует. В соответствии с этой классификацией, например, М. В. Мостепаненко выделяет следующие основания физической теории¹.

Охарактеризуем основания в Таблице 4.

Таблица 4 – Основания физической теории

Вид основания	Содержание
эмпирические	Данные опыта, которые еще не объяснены.
теоретические	Экстраполяция старых понятий, принципов, гипотез и теорий (предпосылки первого рода) или новые исходные понятия, принципы и гипотезы (предпосылки второго рода), которые не могут быть выведены из эмпирических предпосылок данной теории. Через предпосылки второго рода создаются принципиально новые теории.
философские (мета-теоретические)	1) Теоретик всегда имеет определенное мировоззрение и определенные философские взгляды, детерминирующие его работу. 2) Влияние философских идей на науку опосредованно. 3) В физике имеются общие понятия, гипотезы и принципы, возникшие на основе соответствующих философских идей.

Теоретическое знание, например, по Бранскому «является таким видом умозрительного знания, которое дает исчерпывающее объяснение некоторого эмпирического знания и предсказание нового эмпирического знания»². В структуре теоретического уровня помимо прочего можно выделить физическую теорию, структуру которой будем считать состоящей из следующих элементов (по степени общности)³.

1) Теоретическая программа – система теоретических принципов (умозрительные принципы, позволяющие выбирать математические структуры). Например, с помощью принципа инерции Галилея Ньютон вывел свое уравнение движения.

2) Теоретическая схема – система фундаментальных теоретических законов, конструируемых на основе выбранных принципов.

3) Теоретическая – «дедуктивное развертывание схемы», вывод объяснений и проверка следствий. На этой стадии теоретическое знание подвергается интерпретации для связи гипотезы и опыта.

4) Этап теории – установление границ применимости.

Рассмотрим эти элементы, или стадии, более подробно.

¹ Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. Л.: Наука, 1969.

² Бранский В. П. Философские основания проблемы синтеза... С. 55.

³ Степин В. С. Теоретическое знание. М.: Прогресс–Традиция, 2000. С. 122; Бранский В. П. Философские основания проблемы синтеза релятивистских и квантовых принципов. С. 40.

1) Программа¹ – совокупность категорий (метаоснований) и физических принципов. Программа отражает направления исследования, которые связаны с совокупностью научных проблем, поставленных в некоторый период развития науки. Программа и теория сущностно связаны, так как «научная теория выступает не только как результат решения проблемы, но и как предпосылка ее постановки»². Метаоснования – постулаты о структуризации внешнего мира, которые мы выражаем через свойства философских категорий, таких как: материя, пространство, время, движение и так далее. Метаоснования отражают достигнутый уровень осмысления мира и понимания взаимосвязи происходящих в нем явлений. Программа базируется на ключевых (связанных с ключевыми категориями внешнего мира, например: пространство, время, материя) метаоснованиях, которые могут быть выведены из законов сохранения и связанных с ними инвариантов пространства–времени, фундирующих соответствующие теории. Например, программа классической механики включает следующие метаоснования, связанные со структурой пространства (изотропность, однородность), времени (однородность), материи (дискретность) и так далее.

2) Схема – система фундаментальных теоретических законов. Закон представляет собой определенную разновидность гипотезы, имеющую, по крайней мере, признак подтверждаемости на практике. Схема отражает метаоснования, связанные как с физической картиной мира, так и метаоснования, «встроенные» в математический формализм, который, как мы уже писали, даже взятый сам по себе, является содержательно наполненным. Замена этих метаоснований с сохранением ключевых (например, структуризации пространства) ведет к построению эквивалентного формализма теории (формализмы Ньютона, Лагранжа, Гамильтона–Якоби в механике). Например, теоретическая схема механики Ньютона может быть отражена формулой $F = m \times a$, которая включает такие метаоснования как сила (взаимодействие), инерциальная масса (материальная точка, указывающая на дискретность), ускорение интерпретируется как содержащееся в однородном, изотропном пространстве и абсолютном времени.

¹ см. Гайденоко П. П. Эволюция понятия науки: Становление и развитие первых научных программ. М.: Наука, 1980

² Карпович В. Н. Проблема, гипотеза, закон. Новосибирск: Наука, 1980. С. 39.

3) Гипотезы. «Некоторое утверждение представляет собой гипотезу тогда и только тогда, когда оно, во–первых, непосредственно или опосредованно относится к пока или в принципе наблюдаемым фактам, во–вторых, может быть уточнено или исправлено при наличии нового знания»¹. Отметим, что получение некоторого эмпирического или теоретического знания осмысленно только с целью подтверждения или опровержения гипотезы. Метаоснования, выделяемые нами, представляют определенный вид гипотез, а именно неопределенно экзистенциальные гипотезы (например, «существуют неделимые элементарные частицы»²).

4) Теория. Мы можем определить научную теорию как систему законов и их интерпретацию, обладающую, как минимум, свойствами объяснения эмпирических явлений/процессов и предсказания³. Например, Мостепаненко пишет: «теоретическое знание, содержание которого не может быть сведено к совокупности данных опыта и эмпирических закономерностей»⁴

В структуре метатеоретического уровня помимо прочего будем выделять следующие элементы: «1) общенаучная картина мира; 2) общенаучные методологические, логические и аксиологические принципы»⁵.

Определим ФКМ следующим образом: «Физическая картина мира представляет собой совокупность знаний о наиболее общих закономерностях и свойствах всего известного нам физического мира. Ее важнейшие понятия – модифицированные... философские категории субстанционального порядка (движение, взаимодействие, причинность, необходимость...), фундаментальные физические понятия, характеризующие физические объекты независимо от условий познания (вещь, тело, частицы, поле, вакуум)»⁶. Также, например, твердое ядро концепции Лакатоса⁷ можно рассматривать как совокупность теоретической схемы и интерпретирующих ее

¹ Там же. С. 59.

² Там же. С. 81.

³ см. Кузнецов И. В. Структура физической теории // Вопросы философии, №11, 1967.; Печенкин А. А. Функции научной теории // Философия. Методология. Наука. М.: 1972.; Степин В. С. Методология построения физической теории // Вопросы Философии. 1974. № 12.

⁴ Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. Л.: Наука, 1969. С. 26.

⁵ Лебедев С. А. Уровни научного знания // Вопросы философии
URL: http://vphil.ru/index.php?id=97&option=com_content&task=view.

⁶ Дышлевый П. С. Естественнаучная картина мира как форма синтеза знания // Синтез современного научного знания. М.: Наука, 1973. С. 117.

⁷ Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ // Кун Т. Структура научных революций. М.: АСТ, 2003.

элементов физической картины мира. Защитный пояс можно интерпретировать как совокупность частных теоретических схем, выводимых из ядра и подкрепляющих его.

Взаимодействие научной картины мира и теории может быть представлено следующим образом. На этапе становления новой научной области «эмпирическое исследование целенаправлено сложившимися идеалами науки и формирующейся специальной научной картиной мира»¹. На этапе теоретически развитых дисциплин происходит то же самое, с учетом того, что ФКМ уже сформирована. ФКМ помогает сформулировать гипотезу о сущности объекта, а затем проверить ее в эксперименте и интерпретировать полученные данные с фактами науки. ФКМ, во-первых, целенаправляет процесс выбора абстрактных объектов и сети их отношений, «благодаря объединению которых создаются первые гипотетические варианты теоретических схем»²; во-вторых, указывает «какие области науки имеют сходные предметы исследования»³. Таким образом, можно установить, что ФКМ выполняет конструктивную (регулятивную), селективную и интерпретационную функции, а также функцию общей исследовательской программы научной деятельности.

Таким образом, можно построить примерную структуру уровней научного познания, которая может быть отражена в Таблице 5.

Таблица 5 – Структура уровней научного знания

Уровни научного знания	Содержание уровней	
метатеоретический	1) принципы (в том числе методологические) 2) научная картина мира	
теоретический	1) программа 2) схема	(Теория)
эмпирический	эмпирические факты	

Таким образом, принципы физического познания принадлежат метатеоретическому уровню научного исследования и поэтому в явном виде (в виде элементов) не содержатся в структуре физической теории. В этом плане принципы

¹ Степин В. С. Теоретическое знание. М.: Прогресс–Традиция, 2000. С. 295.

² Там же. С. 324.

³ Там же. С. 327.

физического познания играют фундирующую и конструктивную роль в становлении и функционировании физической теории¹.

Рассмотрим способы реализации принципа унификации (т.е. его проявление в физической теории). Сопоставим их с основаниями, входящими в концептуальный уровень принципа унификации.

I Требование математизации²:

1) Объединение через математический формализм (например, обобщение алгебраических объектов от скаляра до тензора; тензорный формализм окончательно объединяет электричество и магнетизм);

2) Объединение через концептуальные структуры (например, объединение пространств физических теорий от евклидова пространства до пространства Гильберта);

II Требование простоты:

3) Объединение через постулирование единой сущности (суперструны, инстантоны и так далее).

4) Объединение через обобщение физических принципов (например, обобщение принципа относительности от Галилея до Эйнштейна);

III Требование преемственности:

5) Объединение через аналогию – преемственность (например, теория Максвелла строится на гидродинамических аналогиях, а теория Эйнштейна опирается на формулы электромагнетизма Максвелла);

6) Объединение через вывод физических констант (например, постоянная скорости света выражается через относительные магнитные и электрические проницаемости, т.е. объединяет электричество и магнетизм).

IV Требование сохранения:

7) Объединение через обобщение / синтез частных законов сохранения (например, формула Эйнштейна для энергии является объединением двух законов сохранения классической физики – закона сохранения энергии и закона сохранения массы).

V Требование принципа объяснения:

¹ см. Симанов А. Л. Методологическая функция философии и научная теория. Новосибирск: Наука, 1986., Иванова Р. И., Симанов А. Л. Реализация методологической функции философии в научном познании и практике. Новосибирск: Наука, 1984

² Psillos S. The Structure, the Whole Structure, and Nothing but the Structure? // Philosophy of Science. 2006. № 5 (73)

Д. П. Горский¹ формулирует следующие «объяснительные возможности» объединенных теорий (т.е. функций, детерминированных помимо прочего методологическим принципом объединения):

8.1) Создавая все более широкие обобщения, мы получаем возможность раскрывать внутренние связи между различными уже открытыми наукой законами.

8.2) Создавая все более широкие обобщения, мы получаем возможность формулировать более эффективные единые правила оперирования изучаемыми понятиями.

8.3) Создавая обобщенные теории, мы получаем возможность объяснить природу фактов, которые не могли быть объяснены в пределах прежней теории.

8.4) Обобщенная теория позволяет конкретизировать прежние теории.

Рассмотренные способы реализации принципа унификации могут быть классифицированы по двум более общим понятиям редукции и синтеза в физических теориях (аналогичный подход можно найти у М. Моррисон²). Редукция – это анализ, т.е. расщепление целого на части (аспектуальное исследование мира) с последующей попыткой «вскрытия закономерностей функционирования всех уровней структурной организации материи на основе уже известных законов и понятий»³. Т.е. под редукцией, в контексте нашего исследования, следует понимать сведение одной совокупности явлений/процессов к другой совокупности явлений/процессов, через раскрытие их сущностной тождественности (например, электромагнитные и оптические явления). *Под синтезом* следует понимать объединение разнокачественных явлений/процессов, через наложение на них математического формализма.

Таким образом, унификация – это редукция и/или синтез явлений/процессов, выраженных в качественных и/или количественных понятиях⁴.

Первым видом унификации мы считаем редукционистскую унификацию¹. Например, в механической картине мира все явления природы стремились объяснить

¹ Горский Д. П. Вопросы абстракции и образования понятий. Изд-во Академии наук СССР, 1961. С. 332.

² Morrison M. Unifying Scientific Theories: physical concepts and mathematical structures. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

³ Философские основания естественных наук. М.: НАУКА, 1976. С. 185.

⁴ см. Bunge M. Two Unification Strategies: Analysis or Reduction, and Synthesis or Integration // Otto Neurath and Unity of Science. Springer, 2011. PP. 145–156, Margenau H. Foundations of the Unity of Science // The Philosophical Review. 1941. № 4 (50). P. 431–439.

через сведение к механическому взаимодействию (движению материальных точек). То есть одновременно соединялись тенденция к редукционизму (объяснение через одно основание и притом наиболее простое) и экстраполяции. Отметим, что редукцию нельзя понимать как механицизм, т.е. как сведение высших форм движения материи к низшим: редукция не отрицает и не абсолютизирует качественного своеобразия высших форм движения.

То есть редукционистская унификация – это отождествление кажущихся разными в историческом периоде развития науки явлений за счет вскрытия их сущностной тождественности. Например, свет (явление, рассматриваемое в оптике как предметной области) после открытий Дж. Максвелла стали считать (отождествлять с) электромагнитной волной (явление, рассматриваемое в электромагнетизме как другой предметной области).

Второй вид унификации – синтетическая унификация. Определим синтез как объединение частей, или аспектов, нахождение объединяющих разнородные явления взаимосвязей. Здесь происходит соединение различных процессов/явлений через наложение на них одной математической модели (например, бозоны и фермионы – качественно разные частицы вещества и полей – можно связать теорией суперсимметрии, в которой бозоны и фермионы возникают парами с равной массой; в реальном мире их масса различна ввиду спонтанного нарушения суперсимметрии). Синтез также можно связать с холизмом, т.е. утверждать доминирование и приоритет целого над частями (выделяемые объекты имеют смысл только как части общего). Пример синтетического объединения – это объединение электромагнитного и слабого взаимодействия; теория суперсимметрии, объединяющая фермионы и бозоны.

Понятно, что это деление неочевидно для некоторых случаев и в принципе исторически изменчиво. Например, не совсем ясно, как оценить объединение Максвеллом электрических и магнитных полей в электромагнитное. Как известно, Максвелл, открыв ток смещения, синтезировал их и создал классические уравнения поля. Я. Б. Зельдович пишет по этому поводу: «В действительности нет чисто электрического и чисто магнитного взаимодействия – есть единое взаимодействие, по–

¹ Jones T. Reductionism and the Unification Theory of Explanation. // Philosophy of Science. 1995. № 1.

разному называемое в разных системах отсчета»¹. В такой интерпретации эта унификация, вероятнее всего, является редукционистской.

Следует разграничить понятия «унификация» и «обобщение». Под «обобщением» будем понимать «утверждение, согласно которому какая-либо теория представляет собой обобщение другой, непосредственно означает лишь то, что основные уравнения и соотношения второй из двух теорий могут быть каким-либо образом получены из рассмотрения основных уравнений и соотношений первой в качестве частного или предельного случая. Однако... переход от менее общей теории к теории более общей не ограничивается количественным уточнением и усложнением уравнений, но включает также введение новых представлений и понятий, причем в основные уравнения вводятся новые величины»².

Подведем итоги цитатой Э. Маха: «Дело именно в том, что природа не начинается с элементов, как мы вынуждены начинать. Для нас во всяком случае счастье то, что мы в состоянии временами отвлечь наш взор от огромного целого и сосредоточиться на отдельных его частях. Но мы не должны упускать из виду, что необходимо впоследствии дополнить и исправить дальнейшими исследованиями то, что мы временно оставили без внимания»³. В истории разные виды объединения сопряжены друг с другом.

Резюме параграфа

- Принципы физического познания принадлежат метатеоретическому уровню научного исследования и определяют структуру физической теории. В этом плане они играют фундирующую и конструктивную роль в становлении и функционировании физической теории.
- Охарактеризованы способы реализации принципа унификации в физическом познании.
- Принцип унификации отражает взаимосвязь процессов редукции и синтеза физических, математических, философских элементов внутри одной физической теории, тех же элементов между физическими теориями, а также самих физических теорий.

¹ Зельдович Я. Б., Хлопов М. Ю. Драма идей в познании природы. М.: НАУКА, 1988. С. 59.

² Зельманов А. Л. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной // Бесконечность и Вселенная. М.: Мысль, 1969. С. 303.

³ Мах Э. Механика. Историко-критический очерк ее развития. Ижевск, 2000. С. 199.

1.4.3 Аксиологическая роль принципа

В предыдущем параграфе было проведено исследование по выявлению роли и уточнению способов реализации принципа унификации в физических теориях. Теперь следует определить *мировоззренческую значимость принципа унификации*, поскольку, как мы выяснили, одно из его оснований может быть квалифицировано как аксиологическое. Кроме того, одна из важных задач философии – построение и анализ предельных оснований человеческой деятельности и познания (аксиологическая проблематика).

Ученому, прежде чем начать исследование (процесс познания), необходимы воля к исследованию и желание исследовать. В общем, необходимо стремление к деятельности (познанию). Оно возникает тогда, когда в исследовании есть какая-то необходимость или ценность, поэтому главным понятием аксиологии мы считаем понятие ценности. «Ценность – это такое свойство, которое обычно значимо для некоторого субъекта». Однако «осознание свойства как ценности зависит в первую очередь от внутренних установок субъекта (целей, знаний, потребностей и т.д.)»¹. Самый высокий вид ценности в науке: «Знание ради знания – вот высшая форма науки»².

И. Кант писал о том, что единство является эвристическим и логическим принципом познания. Наука есть систематизация знания: только помыслив, что объекты окружающего мира взаимосвязаны, мы можем заняться его исследованием и нахождением в нем этого единства в виде эмпирических и теоретических связей и закономерностей разного порядка.

Ценности принято разделять на внешние и внутренние. К внешним ценностям относятся установки, касающиеся рассмотрения науки как социальной деятельности. В целом, тенденция объединения совпадает с общим вектором эволюции ценностных установок. К ним относятся рост требований к профессионализму сотрудников, массовый характер деятельности, требующий привлечения большого числа ученых. Большое количество экспериментальных работ в настоящее время производятся в

¹ Бургин М. С., Кузнецов В. И. Аксиологические аспекты научных теорий. Киев, Наукова думка, 1991. С. 121.

² Новик И. Б. Единство методологии и аксиологии как выражение синтеза знаний // Синтез современного научного знания. М.: НАУКА, 1973. С. 628.

области физики высоких энергий, где требуется высокотехнологическое оборудование, конструирование которого возможно благодаря интенсивному применению научных знаний в производстве.

Внутренние ценности возникают и реализуются в ходе научной деятельности по поиску объединения теорий. Реализация аксиологической функции объединения возможна за счет формирования проблемного поля: определения целей, ценностей и направления поиска, а также за счет разработки новых средств решения поставленных задач, в том числе и методологических. Разработка методологии ведет к уточнению таких ценностных установок, как принципы простоты, объяснения и др.: наука в своем развитии вырабатывает определенную систему внутренних ценностей, находящую свое выражение в разнообразных методологических установках (регулятивах).

Принцип объединения, таким образом, играет аксиологическую роль посредством задания приоритетных направлений исследования, формирования программы поиска, постановки целей и формирования ценностей научного познания, а также задания и поддержания идеалов и норм исследования¹.

Принцип унификации и сам процесс объединения, во-первых, ценны сами по себе. Как писал Аристотель: «Если же у того, что мы делаем, существует некая цель, желанная нам сама по себе, причем остальные цели желанны ради нее и не все цели мы избираем ради иной цели... то ясно, что цель эта есть собственно благо, т. е. наивысшее благо»². Во-вторых, нельзя не признавать мировоззренческую значимость объединенной теории, которая может привести к построению новой онтологии (модели мира). В-третьих, практическая важность – объединенная теория свяжет существующие фундаментальные теории и направит дальнейший поиск, сможет подсказать решение как теоретических, так и практических проблем.

Аксиологическая роль принципа унификации реализуется в требовании преемственности физических теорий (принцип соответствия – накопление знания). Системный характер принципа унификации определяет взаимосвязь аксиологических требований, на основании которых формируются приоритетные направления исследования.

Следует подчеркнуть особую важность преемственности физических идей и

¹ Kitcher P. Unification as Regulative Ideal // Perspectives on Science. 1999. № 7 (3).

² Аристотель Сочинения: В 4-х томах. Т. 4. М.: Мысль, 1984. А II.

теорий, которая есть прямое условие накопления знания. Например, «Коперник в основу своих построений положил восходящий к платоновской натурфилософии принцип равномерности видимых движений светил»¹; принцип относительности ведет свою историю от Галилея, появляясь в работах Ньютона, Пуанкаре, Эйнштейна и прочих (причем мы можем наблюдать эволюцию в понимании этого принципа в каждый период времени). Это одни из не самых известных примеров сохранения и передачи знания. Как известно, при нахождении противоречий в физических теориях, их, прежде всего, пытаются модифицировать и только в последнюю очередь они заменяются более точными. На самом деле теории меняются только в крайнем случае – когда умирают практически все приверженцы старой теории. Следует отметить, что значительную аксиологическую роль, направляющую исследования, играет также принцип симметрии (об этом писал, например, И. А. Акчури²).

Возвращаясь к понятию ценности, отметим, что оно задает иерархию оценок физических теорий, среди которых можно выделить такие понятия, как: теоретичность (степень общности), фундаментальность, эвристичность, обоснованность, значимость и красота. Заметим, что эти оценки могут быть применены как к теории, так и к ее объектам. Рассмотрим первые два понятия ввиду их большей сложности³.

Под теоретичностью физической теории будем понимать свойство непротиворечивости системы (физической теории) и уровень абстрактности идеальных объектов и понятий (глубина проникновения в описание мира). Теория Т более теоретична, чем теория Н, если из фундаментальных уравнений и понятий теории Т можно вывести фундаментальные уравнения и понятия теории Н. Под фундаментальностью уравнений теории будем понимать свойство уравнений описывать все более охватывающее (общее) и в то же время все более конкретное отражение одного и того же объекта. В данной теории уравнение К более фундаментально, чем уравнение Л, если из уравнения К можно вывести средствами данной теории и ее математического аппарата уравнение Л. (Например, из второго закона Ньютона выводится уравнение для малых колебаний механической системы. Из вариационного

¹ Синтез современного научного знания. М.: НАУКА, 1973. С. 632.

² см. Акчури И. А. Симметрия как принцип динамической унификации физики // Принцип симметрии. М.: Наука, 1978. С. 122–141.

³ Иные оценки см. Бургин М. С., Кузнецов В. И. Аксиологические аспекты научных теорий. Киев, Наукова думка, 1991, Карпович В. Н., Бондаренко Т. М. Диалектика содержания и формы в процессе математизации науки. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990.

принципа наименьшего действия получаются как законы Ньютона, так и уравнения Лагранжа).

Любой принцип опирается на некоторую совокупность ранее полученных общих (в том числе научных и метафизических) знаний и принципов, так как он, во–первых, является средством для добывания новых знаний, во–вторых, является надэмпирическим уровнем научного знания. Эти предварительные знания являются исходными основами познания и поэтому они непосредственно связаны как с философией, так и с мировоззрением.

М. В. Мостепаненко, подчеркивая важность этого положения, пишет, что «любой методологический подход, опираясь на некоторые общие знания, связывается тем самым с какими–либо философскими взглядами, представлениями»¹. То же самое подчеркивает А. Л. Симанов, говоря о внутренней присущности предварительных знаний методологическим принципам: «Любой методологический принцип связан по своей природе также с философскими взглядами и предпочтениями исследователя»². Это и понятно, поскольку наука, как и другие социокультурные явления, в большой степени антропогенна.

Таким образом, можно говорить о двоякой детерминированности любого методологического принципа. Во–первых, принцип определяется характером исследуемых объектов, во–вторых, мировоззренческими структурами, доминирующими в культуре той или иной исторической эпохи.

Поскольку принцип унификации содержит вышеуказанные аксиологические аспекты и представляет собой научную и метанаучную (методологическую) ценность, постольку он является идеалом науки (научного познания). Под идеалами и нормами науки следует понимать регулятивные идеи и принципы, выражающие представления о ценностях научной деятельности, ее целях и путях их достижения.

Таким образом, под *идеалом* будем понимать как высшую ценность. Качественно мыслимый идеал – это идеал, мыслимый на уровне нематематических (интуитивных, обыденных) понятий, то есть это физическая модель мира на определенном этапе эволюции физического познания. Количественно мыслимый идеал – это представление о математической модели, по возможности связанной с категориями и метаоснованиями

¹ Мостепаненко М. В. Философия и методы научного познания. Л.: ЛЕНИЗДАТ, 1972. С. 18.

² Симанов А. Л., Стригачев А. Методологические принципы физики: общее и особенное. С. 7.

соответствующей физической картины мира. По этому поводу уместно привести высказывание Мандельштама: «Теперь прежде всего стараются угадать математический аппарат, оперирующий величинами, о которых или о части которых заранее вообще не ясно, что они обозначают»¹.

Резюме параграфа

- Принципы физического познания детерминированы характером исследуемых объектов и мировоззренческими структурами, доминирующими в культуре той или иной исторической эпохи.
- Принцип унификации играет аксиологическую роль посредством задания приоритетных направлений исследования, формирования программы поиска, постановки целей и формирования ценностей научного познания, а также задания и поддержания идеалов и норм исследования.
- Принцип унификации представляет собой научную и метанаучную (методологическую) ценность и является идеалом науки (научного познания), т.е. выражает представления о ценностях научной деятельности, ее целях и путях их достижения.
- Принцип унификации, с точки зрения аксиологии, – это качественно и количественно мыслимый идеал единства научного знания².

1.5 Выводы по главе

Во–первых, выделены подходы к пониманию единства знания в научном (физическом) познании. Подходы классифицированы в зависимости от следующих положений:

- 1) возможность единства мира (онтологический вопрос);
- 2) возможности сведения / объединения элементов мира (гносеологический вопрос).

¹ Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. С. 329.

² см. Мамчур Е. А. Единство как идеал научного познания // Единство научного знания. М.: Наука, 1988.

Первый подход признает единство мира и признает возможность сведения элементов мира к некоторому фундаментальному остатку. Это модели редукции.

Второй подход признает единство мира, но не признает возможность сведения элементов мира к некоторому фундаментальному уровню. Это модели агностицизма.

Третий подход не признает единства мира, но признает возможность объединения элементов мира, например, путем использования некоторого универсального математического языка. Этот подход признает существование несводимых элементов на всех уровнях существования мира. Это модели синтетического единства.

Четвертый подход отрицает как единство мира, так и возможность объединения его элементов. Это модели антиредукционизма. Подходы сгруппированы в Таблице 1.

Во-вторых, определено место принципов физического познания: они принадлежат метатеоретическому уровню научного исследования и не содержатся в структуре физической теории в явном виде. В их структуре выделяются следующие уровни: концептуальный (общенаучное содержание), уровень регулятивов и уровень реализации. Принципы физического познания играют конструктивную и регулятивную роль в становлении и функционировании физической теории.

Принцип физического познания — это концептуальная конструкция, принадлежащая метатеоретическому уровню научного познания, взаимодействующая с физическими теориями; это набор способов построения и регулирования физической теории.

В-третьих, предложены определения принципа унификации в разных аспектах.

1) Структурный аспект. Принцип унификации основан на принципах всеобщей взаимосвязи, объяснения, простоты, математизации, сохранения. Он отражает стремление к единой теории, которое основано либо на общности математического языка описания реальности, либо на возможности формулировать физические теории, используя минимальный набор физических и философских принципов. Эти два аспекта — математизация и простота — находят отражение в принципе объяснения: дополнительность качественного (физическая картина мира) и количественного (математическая интерпретация) описания.

2) Функциональный аспект. Принцип унификации отражает взаимосвязь процессов редукции и синтеза физических, математических, философских элементов внутри одной физической теории, тех же элементов между физическими теориями, а также самих физических теорий в истории физического познания.

3) Аксиологический аспект. Принцип унификации играет аксиологическую роль посредством задания приоритетных направлений исследования, формирования программы поиска, постановки целей и формирования ценностей научного познания, а также задания и поддержания идеалов и норм исследования. Принцип унификации – это качественно и количественно мыслимый идеал единства научного знания.

В-четвертых, на основании проведенного анализа и созданной системы принципов физического познания, конкретизированы регулятивы и реализация принципа унификации.

Регулятивы:

- математизация: стремление к математизации как к единственному способу придать законам природы универсальный и единообразный характер, претендующий на единство знания;

- простота: для построения теории следует выбирать минимум оснований при прочих равных условиях. Помимо этого, следует отметить, что эстетические качества теории (красота, естественность) становятся значимыми физическими предпочтениями;

- соответствие:

- апелляция к сущностному единству физических явлений (Новая теория должна *синтезировать* старые, т.е. предыдущие теории должны быть предельным случаем новой. Так, кинетическая теория материи вскрыла общность механических и тепловых явлений; теория относительности имеет предельным случаем механику Ньютона.);

- требование непротиворечивости и *преемственности* теорий (Новые теории всегда сохраняют часть понятий старых теорий; при этом сохраненные понятия не должны вступать с новыми понятиями в противоречие.);

- дополнительность: возможность синтеза взаимоисключающих понятий и стоящих за ними явлений дает исчерпывающее знание о них.

Реализация:

- На уровне физических теорий унификация реализуется, во-первых, в виде редукции существующих физических теорий к общему основанию (наиболее перспективной теории). Например, сведение теории оптических явлений к теории электромагнитных явлений. Во-вторых, в виде синтеза физических теорий. Например, объединение специальной теории относительности и электродинамики в релятивистскую электродинамику. В-третьих, в виде обобщения физических принципов или математического аппарата физической теории. Например, обобщение математического (евклидова) пространства классической механики на математическое пространство теории относительности (псевдоевклидово в специальной теории относительности и риманово в общей теории относительности). На философском уровне познания унификация реализуется в формировании физических картин мира. Картины мира основаны на концептуальном ядре фундаментальных физических теорий, которые экстраполируют свои методы на уже существующие теории и на исследования новых областей.

В-пятых, с точки зрения физики выделены способы достижения единства знания в физических теориях, которые согласуются с установленными методологическими требованиями, с помощью которых можно исследовать физические теории:

I. Постулат математизации:

a) Объединение через математический формализм (например, обобщение алгебраических объектов от скаляра до тензора; тензорный формализм окончательно объединяет электричество и магнетизм);

b) Объединение через концептуальные структуры (например, объединение пространств физических теорий от евклидова пространства до пространства Гильберта);

II. Постулат простоты:

c) Объединение через постулирование единой сущности (суперструны, инстантоны и так далее).

d) Объединение через обобщение физических принципов (например, обобщение принципа относительности от Галилея до Эйнштейна);

III. Постулат преемственности:

е) Объединение через аналогию – преемственность (например, теория Максвелла строится на гидродинамических аналогиях, а теория Эйнштейна опирается на формулы электромагнетизма Максвелла);

ф) Объединение через вывод физических констант (например, постоянная скорости света включает в себя относительные магнитные и электрические проницаемости, т.е. объединяет электричество и магнетизм).

IV. Требование сохранения:

г) Объединение через объединение частных законов сохранения (например, формула Эйнштейна для энергии является объединением двух законов сохранения классической физики – закона сохранения энергии и закона сохранения массы).

В-шестых, анализ предложенных связей принципа унификации с прочими принципами физики позволил выделить методологические установки, связанные с процессом объединения физических теорий:

- Объяснение должно отвечать тенденции к объединению всех полученных ранее знаний.
- Единство картины мира (объединение) возможно при условии всеобщей взаимосвязи явлений.
- Достижение единства картины мира возможно на основе постулирования единой сущности описания мира и общности математического языка.
- Общие принципы симметрии и сохранения должны лежать в основе любой физической теории. Если структура физического закона инвариантна (сохраняется) относительно некоторого класса преобразований, значит, закон отражает некоторую группу симметрии. Более универсальный физический закон стремится быть инвариантным относительно более общей группы симметрии.
- Объединение требует сохранения в форме преемственности (например, старый математический аппарат должен входить в новый в предельном случае). Отсюда вытекает существование инвариантных элементов в процессе познания, что требует, чтобы принципы сохранения и симметрии лежали в основании любой физической теории, поскольку инвариантность – это сохранение, а симметрия – это единство сохранения и изменения.

Глава 2 Функционирование принципа унификации в физических теориях

Глава посвящена методологическому и концептуальному анализу фундаментальных физических теорий с целью апробации и уточнения разработанных требований и установок принципа унификации. Акцент делается на том, чтобы показать объединение и обобщение физических принципов, философских принципов и математического формализма, как наиболее важных элементов физических теорий. Будет показано, что в становлении и функционировании практически каждой фундаментальной физической теории принцип унификации играет конструктивную и регулятивную роль. Поскольку физическая теория является объединением объясняемого и / или систематизируемого ею материала (знания), постольку тенденция унификации физических теорий является фундаментом физической теории. В заключение мы выскажемся о возможности операционального требования к унифицированности физических теорий. В следующем обзоре мы будем опираться на исследования по истории физики¹.

2.1 Классические теории

2.1.1 Классическая механика

Выделим объект классической механики и его характеристики. «Общими структурными элементами механики Ньютона можно считать следующие три элемента: совокупность физических величин (наблюдаемых), с помощью которых описываются объекты данной теории; характеристика состояний системы; уравнения движения,

¹ см. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. М.: НАУКА, 1974.; Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX вв. Москва: Наука, 1979.; Льюэлли М. История физики. М.: МИР, 1970., Спасский Б. И. История физики Ч. 1, 2. М.: «Высш. школа», 1977.; Heller M. Physics and Philosophy in the 20th century // Revista Portuguesa de Filosofia. 2005. №61. и другие.

описывающие эволюцию состояния системы»¹. Таким образом, мы получаем следующие элементы.

- Объект: материальное тело, идеализируемое как материальная точка – носитель гравитационного взаимодействия в евклидовом пространстве.
- Наблюдаемые: координата, скорость, импульс, ускорение, масса, сила, интегралы движения.
- Характеристики: координатная, импульсная.
- Уравнения движения – законы Ньютона.

Классическая механика Ньютона – первая фундаментальная физическая теория с первой частнонаучной картиной мира. Анализ классической механики начнем с интерпретации законов Ньютона.

Закон первый. «Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние»². Речь идет об инерции: (1) как динамическом атрибуте материи; (2) как свойстве сохранения скорости прямолинейного равномерного движения в условиях отсутствия сил. Первый закон можно интерпретировать как закон сохранения инерции, или движения тела.

Закон второй. «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует»³. Если на тело действует сила, то нарушается «инерциальность» движения, вследствие чего появляется ускорение. Ньютон рассматривал силу «как математическую категорию, которая позволяет описать то взаимодействие тел, результатом которого являются их ускорения»⁴. Сила в механике является объединяющим понятием, т.к. с ее постоянством или изменением связываются первый и второй законы.

Закон третий. «Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе – взаимодействия двух тел друг на друга равны и направлены в противоположные стороны»⁵. Этот закон устанавливает относительность систем координат. Например, если субъект нажимает пальцем на камень, то и палец «нажимается» камнем, т.е.

¹ Мякишев Г. Я. Общая структура фундаментальных физических теорий и понятие состояния // Физическая теория. М.: Наука, 1980. С. 423.

² Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. С. 39.

³ Там же. С. 40.

⁴ Кудрявцев П. С. История физики [в 3 т.]. Т.1. М.: Учпедгиз, 1948. С. 218.

⁵ Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. С. 41.

система координат с пальцем в центре эквивалентна системе координат с камнем в центре.

Третий закон можно рассматривать, во-первых, как основу закона сохранения импульса¹; во-вторых, как следствие принципа дальнего действия («Третий закон содержит утверждение, что сила F_{12} равна по величине и противоположна силе F_{21} , когда обе они измеряются в один и тот же момент. Это требование противоречит факту, что данное тело воспринимает действие силы, оказываемое другим телом, не мгновенно, а через конечный промежуток времени»².) Поскольку третий закон можно рассматривать как регулятив (силы в макром мире появляются парой); постольку все три закона вводят характеристики понятия «сила».

Таким образом, понятия инерции и силы можно считать центральными понятием классической механики³.

Выведем категории и их свойства (метаоснования), связанные с законами.

Из первого закона выводятся следующие метаоснования: инерция (как свойство материи), однородность и изотропность пространства, однородность времени. Из второго закона, записанного в символическом виде как

$$F = m \times a$$

выводятся четыре категории, на которые указывали Г. Герц и Ю. С. Владимиров⁴.

Первые два – это сила и масса. Ньютон приводит несколько операциональных определений понятия «масса». (1) «Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее»⁵. (2) поскольку «инерция является изначальным неизменным атрибутом материи, ее “врожденной силой”, поэтому ее вполне можно отождествить с количеством вещества (массой – Е. Б.)»⁶, т.е. масса является количественной характеристикой (мерой) инерции тел.

¹ Вигнер Ю. Симметрия и законы сохранения // Успехи физических наук. 1964. № 4. С. 732.
см. Вигнер Ю. Нарушение симметрии в физике // Успехи физических наук. 1966. № 3

² Киттель Ч. Механика // Берклеевский курс физики. Москва: Наука, 1983. С. 78.

³ см. Тюлина И. А. История и методология механики. М.: Издательство Московского университета, 1979., Коноплева Н. П. Понятие инерции и принцип симметрии // Принцип симметрии. М.: Наука, 1978.

⁴ Герц Г. Принципы механики, изложенные в новой связи. М.: Издательство Академии наук СССР, 1959. С. 16–40, Владимиров Ю. С. Метафизика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002. С. 115.

⁵ Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989.

⁶ Кудрявцев П. С. История физики [в 3 т.]. Т.1. М.: Учпедгиз, 1948. С. 217.

Остальные два метаоснования следуют из понятия ускорения: ускорение есть вторая производная координаты по времени, т.е. $\frac{d^2x}{dt^2}$. Символ «х» интерпретируется как координата (пространство), символ «t» интерпретируется как время. Пространство является однородным (нет выделенных частей) и изотропным (нет выделенных направлений – они все равноправны).

Ньютон выделяет относительное пространство, которое «определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное»¹. Вместе с относительным пространством принимается относительное время. Оно определяется как «совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности»², поскольку время может измеряться только движением.

В относительном пространстве и времени проявляется относительное движение, причем различить одно равномерное прямолинейное движение среди других идентичных ему в силу принципа относительности невозможно. Ускорение, как динамический эффект, позволяет обнаружить такое движение, которое Ньютон назвал абсолютным (например, центробежная сила). Такое движение отнесено к абсолютному пространству (мыслится как всегда одинаковое и неподвижное) и абсолютному времени (мыслится безотносительно к чему-либо внешнему и всегда равномерно).

Основу понятия абсолютного времени по Б. Г. Кузнецову, составляет принцип мгновенного распространения взаимодействия³. Если бы взаимодействия распространялись с конечной скоростью, то события были бы неодновременны (относительны). Различие абсолютных и относительных пространства, времени и движения вводятся для вписывания в картину мира понятия «ускорение».

Таким образом, мы вывели совокупность категорий и метаоснований, на которых построена механистическая картина мира⁴.

1. Понятие «материя» выражено категорией массы (материальная точка), которая связана с принципом сохранения инерции и категорией силы, которая связана с нарушением инерционного движения.

¹ Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. С. 30.

² Там же.

³ Кудрявцев П. С. История физики [в 3 т.]. Т.1. М.: Учпедгиз, 1948. С. 169.

⁴ см. Алексеев И. С. Структура механики Ньютона // Системный анализ и научное знание. М.: НАУКА, 1978. С. 229–245.

2. Пространство и время: однородность, изотропность, непрерывность, абсолютность и относительность.

3. Взаимодействие: дальнодействие.

Другая важная часть классической механики – закон всемирного тяготения (ньютоновская теория тяготения). Его основа – сумма законов Кеплера о движении небесных тел и установление пропорциональности между массой (силой тяжести) и весом тел. О пропорциональности Б. Г. Кузнецов писал: «Центростремительное ускорение обратно пропорционально квадрату расстояния. Сила, служащая причиной центростремительного ускорения планеты, направлена, как и само ускорение, к Солнцу, иначе говоря, эта сила притягивает планету к Солнцу. Она равна ускорению, умноженному на массу. С другой стороны, тяжесть, сообщаемая телам направленное к центру Земли равномерное ускорение, также пропорциональна массе. Ньютон предположил, что здесь не аналогия, а тождество»¹. Соединяя эту основу с третьим законом, мы получаем закон всемирного тяготения. «Переход к космическому тяготению может быть осуществлен с помощью принципа взаимности действия. Если все тела тяготеют к Земле, то и Земля тяготеет к ним. Если бы тяготение тел не было взаимным, то тела, соединившись, двигались бы в направлении силы тяготения»².

Закон всемирного тяготения устанавливает взаимодействие всех тел во вселенной и в этом смысле в механической картине мира устанавливает единство вселенной. Наука приобретает универсальный закон, применимый для описания движения всех тел природы. С отождествлением движения небесных тел (планет) и земных тел (которые движутся к земле) связано объединение земного и небесного миров (подлунного и надлунного по Аристотелю).

Завершим анализ высказыванием А. Эйнштейна: «Только совокупность (Закон движения) плюс (Закон тяготения) образует ту замечательную систему мыслей, которая в случае, когда явления происходят под действием одной лишь силы тяготения, позволяет по заданному в определенный момент состоянию движения найти как предшествующие, так и последующие состояния»³. Закон движения следует из нарушения принципа инерции, закон тяготения следует из принципа равенства действия и противодействия.

¹ Там же. С. 172.

² Очерки развития основных физических идей. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. С. 189.

³ Эйнштейн А. Физика и реальность. М.: НАУКА, 1965. С. 15.

Таким образом, в классической механике объединены и обобщены следующие элементы:

- *Философское объединение*: (1) принцип сохранения инерции лежит в основе классической механики (и объединяет ее основные понятия); (2) понятие силы можно трактовать как понятие, соединяющее категории пространства, времени, массы; (3) понятие силы объединяет философские категории покоя и движения; (4) закон тяготения объединяет аристотелевские категории подлунного и надлунного; (5) механицизм – проявление редукционизма.

- *Физическое объединение*: (1) закон всемирного тяготения создан на основе объединения законов Кеплера, принципа равенства действия и противодействия, принципа эквивалентности (придал классической физике универсальную основу); (2) классическая механика характеризуется синтезом физики (физических законов) и геометрии, поскольку события, связанные с материальными точками, происходят в евклидовом пространстве (это объединение, присутствующее в любой теории).

Зафиксируем список объединений и обобщений классической механики в Таблице 6.

Таблица 6 – Список объединений и обобщений классической механики

реализация принципа унификации	пример
сохранение – наличие общего закона сохранения	Принцип сохранения инерции лежит в основе классической механики (объединяет ее основные понятия).
математизация – объединение через концептуальные структуры	Понятия инерции и силы можно считать центральными понятиями классической механики: 1) понятие силы можно трактовать как объединяющее для таких категорий как: пространство, время, масса; 2) понятие силы объединяет философские категории покоя и движения (равномерное движение системы подходящим выбором системы координат можно интерпретировать как нахождение системы в покое).
простота – минимум оснований при прочих равных условиях	Закон всемирного тяготения (объединение законов Кеплера, принципа равенства действия и противодействия, принципа эквивалентности) придал физике универсальную основу, т.к. относился к движению всех тел природы.
объяснение – редукция физических теорий к перспективной теории	Механицизм – проявление редукционизма, поскольку выражает стремление свести открытые законы и явления к принципам и понятиям механики.
прочее	Классическая механика характеризуется синтезом физических законов и геометрии, поскольку события, связанные с материальными точками, происходят в евклидовом пространстве.

2.1.2 Аналитическая механика

Переход от векторной механики к аналитической можно осуществить путем обобщения понятий «координата» («В качестве системы координат может быть выбрана любая совокупность параметров, характеризующая положение механической системы. Эти параметры называются обобщенными координатами системы»¹.) и «пространство» («Независимо от количества частиц, входящих в данную механическую систему, и от сложности соотношений между ними система в целом изображается одной точкой многомерного пространства, называемого «пространством конфигураций»²).

Выделим объект аналитической механики и его характеристики:

- Объект: обобщенная координата в конфигурационном пространстве.
- Наблюдаемые: координата, скорость, ускорение, масса, импульс, сила, энергия, действие, интегралы движения.
- Характеристики: координатная, импульсная (дифференциальная), энергетическая (интегральная).
- Уравнения движения – вариационные принципы механики.

Обратимся к вариационным принципам механики. На их основе построено или переформулировано множество физических теорий (например, электродинамика, ОТО, квантовая механика, КТП и прочие), поэтому можно сказать, что «общим принципом всех обратимых процессов является принцип наименьшего действия, который лежит в основе построения единой физической картины мира»³. Приступая к анализу, следует определить понятие вариации. Вариация – это возможное (т.е. потенциальное, виртуальное) бесконечно малое изменение функции $f(x)$ при фиксированном значении независимой переменной.

К. Ланцош указывал, что все вариационные принципы можно свести к одному предварительному условию: «Виртуальная работа сил реакции всегда равна нулю при любом виртуальном перемещении, не нарушающем заданных кинематических связей»⁴. Это условие справедливо для любого твердого тела, находящегося в равновесии.

¹ Ланцош К. Вариационные принципы механики. М.: Мир, 1965. С. 34.

² Там же. С. 34–36.

³ Готт В. С. Философские проблемы современной физики. М.: Высш. шк., 1988. С. 190.

⁴ Ланцош К. Вариационные принципы механики. С. 99

Предварительное условие, по Ланцошу, является самостоятельным и не выводимым из законов Ньютона. Из этого следует, что аналитическая механика базируется на отличных от механики Ньютона основаниях.

Вариационные принципы классифицируют на дифференциальные и интегральные¹. Все дифференциальные принципы могут быть выведены из одной математической структуры, имеющей вид: $\sum \left(m_i \ddot{q}_i - F_i \right) \ddot{a}r_i = 0$.

Это уравнение можно назвать «общей формулировкой принципа Даламбера»². Покажем вывод из этого уравнения принципа виртуальных перемещений Лагранжа и принципа Даламбера. Таким образом, как минимум, дифференциальные принципы можно свести к единой математической структуре, что является реализацией требования математизации принципа унификации.

Если $m_i \ddot{q}_i$ трактовать как активную силу, F_i трактовать как силу реакции связей, тогда, принимая предварительное условие вариационных принципов, мы получим принцип виртуальных работ Лагранжа.

Интерпретируя $m_i \ddot{q}_i$ как активную силу, а F_i как силу инерции, получаем принцип Даламбера.

Опишем вариационные принципы по уровням.

1) Предварительное условие вариационных принципов (представим в Таблице 7).

Таблица 7 – Методологическая структура общего вариационного принципа Даламбера

Уровень	Описание
концептуальный уровень (новые понятия)	виртуальное перемещение (вариация), связи (реакция связей), кинематические связи;
операциональный уровень (регулятивы)	1) перемещение должно быть виртуальным (т.е. $\delta x = 0$ и $dt=0$) и обратимым; 2) перемещение не должно нарушать заданных кинематических связей;
уровень реализации	связь с вариационным исчислением через понятие виртуального перемещения; связь с классической механикой через понятие работы силы на траектории.

¹ см. Веселовский И. Н. Очерки по истории теоретической механики. М.: «Высшая школа», 1974.

² Там же. С. 118.

2) Принцип виртуальных перемещений. Условие равновесия требует, чтобы сумма приложенной силы и результирующей сил реакции равнялась нулю. Помимо указанного выше, принцип вводит активные силы и постулирует возможность равновесия механической системы.

3) Принцип Даламбера. Полная виртуальная работа эффективных сил (т.е. суммы активных и инертных сил, действующих на механическую систему), равна нулю для всех обратимых перемещений, совместимых с заданными кинематическими связями. Помимо указанного выше, принцип вводит инертные силы, а также позволяет рассматривать динамику системы как статику.

Эти принципы содержат категорию «сила», а также принимают концепцию работы силы на траектории. С введением понятия траектории вводится категория «пространство», которое в силу многократного дифференцирования функций должно обладать свойством однородности. Поскольку понятие вариации предполагает перемещение виртуальным, постольку вводится категория «потенциальное» как противоположное действительному.

Рассмотрим интегральные вариационные принципы. В общем виде их можно сформулировать так: «в истинном движении определенный интеграл от некоторой динамической функции на некотором отрезке времени принимает стационарное значение, сравнительно со значениями того же интеграла на всех близких движениях...» или «...только для истинного движения вариация данного интеграла равна нулю»¹.

Математическое выражение: $\int_{t_1}^{t_2} L(q, \dot{q}, t) dt = 0$.

Это утверждение является принципом Гамильтона. В Таблице 8 представлено методологическое описание вариационного принципа Гамильтона.

Таблица 8 – Методологическое описание вариационного принципа Гамильтона

¹ Добронравов В. В. Основы аналитической механики. М.: Высшая школа, 1976. С. 91.

понятия	вариация, экстремум, энергия
регулятивы	1) перемещение должно быть виртуальным; 2) вариации перемещения должны быть фиксированы на концах интервала; 3) связи должны быть голономными; 4) система должна быть консервативной.
реализация	1) Механику консервативных систем можно построить на основе принципа Гамильтона, заменяющего законы Ньютона. 2) Принцип Гамильтона является руководящей идеей при описании немеханических систем.

В интегральных принципах движение рассматривается целостным (в дифференциальных принципах мы должны решать уравнение для каждого момента времени). Эту особенность можно считать проявлением унифицирующего свойства интегральных принципов. Так же эти принципы используют понятие «энергия», которая является интегральным для понятия «сила» ($E = \int F ds$)¹.

Понятие энергии восходит к понятию меры механического движения. М. А. Айзерман пишет: «Наблюдая движения тел, люди издавна обращали внимание на то, что чем больше масса и скорость движущегося тела, тем больший эффект возникает при его соударениях с другими телами»². Мерой движения (энергией) точки служит скалярная функция координат и скоростей $f(m_i, v_i)$. Д. Бом писал, что энергия «является неизменной характеристикой или функцией некоторого вида движения и никогда не выступает в виде независимо существующей субстанции»³. Поэтому представляется неправомерным говорить о субстанциональности энергии ввиду неоднородности (существует множество видов энергии) и формальности (энергия – функция, свойство системы) содержания понятия.

Формальность позволяет унифицировать (обобщить) понятие энергии, поскольку обобщение входящих в функцию переменных ведет к обобщению функции. Таким образом, через формальные понятия возможно синтетическое объединение, т.е. объединение с помощью математического аппарата. В противоположность этому через концептуальные понятия возможно редукционистское объединение (струны, кварки и прочее), т.е. обобщение на разные предметные области одного понятия.

¹ Кравец Т. П. Эволюция учения об энергии // Успехи физических наук, 1948. № 11. С. 343.

² Айзерман М. А. Классическая механика. М.: Физматлит, 1980. С. 48.

³ Бом Д. Специальная теория относительности. М.: Мир, 1967. С. 143.

Понятие энергии обобщает понятие силы, потому что: (1) описывает всю систему в целом; (2) связано с понятием силового поля, которое является существенным элементом описания не только механических, но и немеханических систем; (3) функция энергии описывается более общим математическим аппаратом и содержит в себе всю необходимую информацию о действующих силах, (4) требует меньшее количество уравнений для описания движения системы.

Основное уравнение аналитической механики – уравнение Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0.$$

Опишем совокупность категорий и метаоснований, входящих в это уравнение.

1) Понятие «материя» выражено категорией обобщенной координаты (обобщение материальной точки), которая связана с вариационными принципами (обобщение принципа инерции).

2) Пространство и время: однородность, изотропность и непрерывность, абстрактность и многомерность (конфигурационное пространство – обобщение евклидова пространства),

3) Взаимодействие: близкоедействие (диктуется математической формой уравнений).

Таким образом, аналитическая механика отличается от классической, во-первых, базовыми понятиями (энергия), во-вторых, базовыми принципами (принцип виртуальных перемещений, обобщенный вариационный принцип), в-третьих, метаоснованиями (близкоедействие).

Аналитическая механика, используя концепцию динамических аналогий (Описаны Г. Ольсоном¹), достигает уникального по силе примера *синтетического объединения*. Понятие «аналогия» указывает на обнаруженное сходство уравнений, описывающих процесс изменения системы, а понятие «динамическая» указывает на дифференциальный характер уравнений. Например, механическая система маятников и пружин, а также электрическая система катушек индуктивности и конденсаторов описываются одинаковыми уравнениями (натяжению пружины приводится в соответствие емкость конденсатора и т.д.). Метод динамических аналогий возможен в виду формальности понятия «энергия», а также ввиду консервативности гравитационного и электромагнитного полей. На этот счет С. Вайнберг заметил, что

¹ Там же. С. 143.

«математические структуры, развиваемые учеными для реализации физических принципов, обладают странным свойством подвижности. Их можно переносить от одного концептуального окружения к другому, они могут служить разным целям»¹.

Таким образом, в аналитической механике объединены и обобщены следующие элементы:

Философское объединение: (1) понятие энергии обобщает понятие инерции (инерция $\rightarrow$ сила $\rightarrow$ энергия $\rightarrow$ действие); принцип сохранения энергии становится основным в классической механике (и объединяет ее основные понятия); (2) обнаружена связь между категориями сохранения и симметрии; (3) синтез континуального и дискретного аспектов движения (оптико–механическая аналогия); (4) вариационные принципы являются выражением обобщенного принципа причинности.

Физическое объединение: (1) принцип наименьшего действия – фундаментальный принцип для получения уравнений движения как в классических, так и в неклассических теориях; (2) на основе понятия энергии можно описывать механические и немеханические системы; (3) формулирование оптико–механической аналогии (аналогия между распространением волн и частиц – предобъединение геометрической оптики и механики); (4) обнаружена связь между сохранением величины и соответствующей симметрией рассматриваемой системы.

Математическое объединение: (1) обобщение понятий координаты и пространства (ненаглядность); (2) метод динамических аналогий на основе общности дифференциальных уравнений единообразно описывает как механические, так и немеханические системы.

Зафиксируем список объединений и обобщений аналитической механики в Таблице 9.

¹ Вайнберг С. Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. М.: Едиториал УРСС. 2004. С. 120.

Таблица 9 – Список объединений и обобщений аналитической механики

реализация принципа унификации	пример
сохранение – наличие общего закона сохранения	Интегральная формулировка вариационных принципов требует равенства нулю (сохранения) функции Лагранжа на участке интегрирования.
математизация – объединение через концептуальные структуры	Описание как механических, так и немеханических систем на основе вариационных принципов с помощью метода динамических аналогий.
простота – минимум оснований при прочих равных условиях	Принцип наименьшего действия – наиболее фундаментальный принцип для получения уравнений движения как классических, так и неклассических теорий. «Закон гравитации, законы механики и законы электромагнитного поля удалось свести к одному принципу наименьшего действия» ¹ .
соответствие – объединение через аналогию, преемственность	1) Из вариационного принципа Даламбера можно вывести второй закон Ньютона (обратное возможно только при наличии допущений, нехарактерных для механики Ньютона). 2) На основе вариационных принципов сформулирована оптико–механическая аналогия (Гамильтон), утверждающая, что движение частицы по траектории можно представить как распространение луча света в приближении геометрической оптики. Предобъединение геометрической оптики и механики.
дополнительность – возможность синтеза взаимоисключающих понятий	Вариационные принципы включают в себе синтез континуального и дискретного аспектов движения и являются выражением обобщенного принципа причинности в физике.
обобщения	1) Обобщение понятий: инерция → сила → энергия → действие. На основе понятий «энергия» и «действие», а также на основе математических понятий координаты и пространства происходит обобщение классической механики. 2) Математические обобщения: понятие обобщенной координаты и конфигурационного пространства.
прочее	«Механика Лагранжа и Гамильтона обнажила глубокую и мощную связь между сохранением той или иной величины и, соответствующей симметрией рассматриваемой системы» ² .

¹ Эддингтон А. Пространство, время и тяготение. М.: Едиториал УРСС, 2003. С. 149.

² Дэвис П. Суперсила. – М.: Мир, 1989. С. 68.

2.1.3 Классическая электродинамика

Основная задача, которую решал Максвелл, сводилась к поискам единого способа описания и объяснения явлений электричества и магнетизма. Первым доказательством связи этих явлений было экспериментальное открытие Эрстедом в 1819 году порождения магнитного поля движущимся электрическим током. В 1831 году М. Фарадей открыл электромагнитную индукцию, что стало свидетельством взаимосвязи явлений электричества и магнетизма. Им же были разработаны основы концепции физического поля¹.

Максвелл при построении теории опирался на работы Фарадея. «Максвелл усматривает причину мощности метода Фарадея в том, что тот исследует роль среды в электрических и магнитных явлениях и обращается к картине движущейся среды уже изученной и изучаемой – жидкой среды»².

Понятие среды связано с понятием силовой линии. Фарадей дает следующее определение: «Линию магнитной силы можно определить как линию, которую описывает весьма малая магнитная стрелка, если она движется в которую–нибудь сторону в направлении своей длины так, что все время остается касательной к линии движения»³. Общее определение понятия дано Максвеллом: «через каждую точку пространства... можно провести линию таким образом, что ее направление в каждой точке будет совпадать с действующей здесь электрической или магнитной силой»⁴. Силовая линия, во–первых, обладает свойством непрерывности в пространстве, во–вторых, характеризует направление и интенсивность силы, в–третьих, указывает на существование непрерывной среды, передающей силу, т.е. векторное поле.

Поскольку векторное поле характеризуется в каждой точке пространства величиной и направлением действия силы, постольку электрическое поле можно охарактеризовать вектором электрической напряженности. Электрическая напряженность – «это сила, которая действовала бы на малое тело, заряженное

¹ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству [в 3 т.]. Т.3 – Л.: Изд-во АН СССР, 1959.

² Кудрявцев П. С. История физики [в 3 т.]. Т.2. М.: Учпедгиз, 1956. С. 135.

³ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству [в 3 т.]. Т.3 С. 560.

⁴ Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М.: Государственное издательство технико–теоретической литературы, 1954. С. 16.

единичным положительным зарядом, если бы его поместили в эту точку, не исказив имеющегося распределения электричества»¹. Вектор электрической напряженности – это силовая характеристика поля. С вектором электрической напряженности связан вектор электрического смещения (вспомогательный). Максвелл писал: «в диэлектрике, находящемся под действием индукции, электричество в каждой молекуле смещено так, что одна сторона молекулы становится неэлектризованной положительно, а другая отрицательно... Результат этого действия на всю массу диэлектрика выражается в образовании общего смещения электричества в определенном направлении»².

Вектора магнитного поля определяются по аналогии с электрическими. Силовая характеристика магнитного поля названа Максвеллом магнитной индукцией. Она определяет силу, с которой магнитное поле действует на заряд, движущийся с некоторой скоростью. Поскольку магнитное поле проявляется при движении электрических зарядов, постольку оно является релятивистским проявлением электрического поля. Вспомогательный вектор магнитного поля – напряженность магнитного поля (названия векторов магнитных полей «перевернуты» по сравнению с названиями векторов электрических полей).

Следует сказать несколько слов о размерностях векторов. В системе СГС (гауссова система) размерности всех четырех векторов одинаковы – $(\text{М}^{1/2}\text{Л}^{-1/2}\text{Т}^{-1})$; в системе СИ размерности разные. С методологической точки зрения последнее нежелательно, поскольку одинаковая размерность векторов наглядно показывает их единую математическую природу (синтетическое объединение посредством наложения одного математического формализма на разные явления).

Система СГС наглядно показывает объединение электрического и магнитного полей, а также световых явлений через константу скорости света. Д. В. Сивухин пишет: «Включение в эту систему (СГС – Е. Б.) электрических явлений производится посредством закона Кулона. Магнитные единицы вводятся исходя из требования, чтобы напряженности электрического и магнитного полей оказались *одинаковой размерности*. В результате в системе единиц появляется коэффициент, называемый *электродинамической постоянной*, имеющий размерность скорости. Этот коэффициент

¹ Максвелл Дж. К. Тракта́т об электричестве и магнетизме. [в 2 т.] Т.1. М.: Наука, 1989. С. 86.

² Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. С. 163.

имеет ясный физический смысл и представляет собой скорость распространения света в вакууме c »¹.

Реконструируем процесс объединения по Максвеллу. Вначале он выводит силу, действующую между двумя наэлектризованными телами – закон Кулона: $F = -E \frac{e_1 e_2}{r^2}$, где e – заряды тел, затем переписывает ее для электростатики: $F = \frac{3_1 3_2}{r^2}$. E – «коэффициент, на который должно быть умножено выраженное в магнитных единицах количество электричества, чтобы получить число, выражающее то же самое количество электричества в электростатических единицах»². Эта единица получилась численно равной скорости света, из чего Максвелл устанавливает: «свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений»³.

Таким образом, константа скорости света – маркер объединения концепций электричества и магнетизма. В самом деле: «При малых скоростях магнитные силы очень слабы, но при больших электрические и магнитные силы сравнимы. Объединение двух сил приносит новый масштаб в теорию – скорость света. Скорость света – это масштаб, который задает относительную величину этих двух сил»⁴.

Проанализируем фундаментальные уравнения электромагнетизма. Современная система уравнений Максвелла была установлена Герцем и Хэвисайдом.

Первое уравнение (уравнение токов):

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{d\mathbf{D}}{dt},$$

Уравнение обобщает законы Кулона, Ампера и Био–Савара. Его физический смысл в том, что магнитное поле в некоторой области пространства связано не только с токами проводимости, протекающими в этой области, но и с изменением электрического поля во времени в этой области.

¹ Сивухин Д. В. О международной системе физических величин. Успехи физических наук. 1979. № 129. С. 335.

² Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. С. 172.

³ Там же. С. 173.

⁴ Хелзен Ф. Кварки и лептоны: Введение в физику элементарных частиц. Новокузнецк: Новокузнец. физ–мат ин–т., 2000. С. 41.

По поводу первой компоненты Максвелл пишет: «Полная магнитная интенсивность вдоль линии, ограничивающей какую-нибудь часть поверхности, служит мерой количества электрического тока, протекающего через эту часть поверхности»¹.

Вторая компонента – ток смещения. Максвелл ставит задачу найти механическую модель магнитного поля. «Учитывая вихревой характер магнитных сил, Максвелл... ввел представление о замкнутых трубках тока несжижаемой жидкости»². Однако для объяснения электромагнитной индукции нужно учесть переменный характер магнитного поля. Максвелл «обратился к идее нестационарных силовых линий... Представление данного типа Максвелл ввел с помощью известной модели вихря в несжижаемой жидкости. В этой модели вихрь репрезентировал магнитную силу в точке, набор же вихрей моделировал магнитную силовую линию»³ (Там же: 375). С помощью этой аналогии Максвелл вывел ток смещения. В связи с этой моделью вводится понятие электрического тока: «электрический ток может быть представлен как поступательное движение частиц, расположенных между соседними вихрями»⁴.

Второе уравнение (уравнение свободного электричества) определяет источники электрического поля. Его физический смысл в том, что электрическое поле в некоторой области пространства связано с электрическим зарядом внутри этой области.

Из вышеприведенных уравнений следует закон сохранения заряда:

$$\frac{dc}{dt} + \text{div} j = 0$$

Максвелл писал об этом законе: «та непрерывность, которую оно (уравнение – Е. Б.) выражает, есть непрерывность существования, т.е. это означает, что материальное вещество не может покинуть одну часть пространства и появиться в другой, не проходя через пространство между ними. Оно не может исчезнуть в одном месте и появиться в другом, а должно пройти по некоторому непрерывному пути...»⁵.

Третье уравнение (уравнение ЭДС):

$$\text{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{d\mathbf{B}}{dt}$$

¹ Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. С. 84.

² Степин В. С. Теоретическое знание. М.: Прогресс–Традиция, 2000. С. 373.

³ Там же. С. 375.

⁴ Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля.

⁵ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. [в 2 т.] Т.1. М.: Наука, 1989. С. 335.

Это обобщение закона индукции. Его физический смысл в том, что электрическое поле в некоторой области пространства связано с изменяющимся магнитным полем во времени в этой области, т.е. переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое поле и наоборот.

В третьей работе Максвелла это уравнение приобретает иной вид, в котором сохраняется и в «Трактате». Современная форма:

$$\mathbf{E} = [\mathbf{V}\mathbf{B}] - \frac{d\mathbf{A}}{dt} - \text{grad}\phi$$

Напряженность поля обусловлена (1) скалярным потенциалом, характеризующим потенциальную энергию поля, которой обладает единичный заряд, помещенный в данную точку поля; (2) векторным потенциалом, который обусловлен явлением электромагнитной индукции и изменяющимся магнитным полем. Например, Кудрявцев¹ считает, что это уравнение является единым полевым представлением.

Четвертое уравнение (уравнение магнитной силы). Максвелл записывает его через ротор векторного потенциала ($\text{rot}\mathbf{A}$). Поскольку в современном виде в третьем уравнении отсутствует слагаемое векторного потенциала, постольку его нет в последнем уравнении.

$$\text{div}\mathbf{B} = 0$$

Это тоже закон сохранения. Он устанавливает отсутствие магнитных зарядов и замкнутость магнитных силовых линий.

Выделим исходный объект электромагнетизма и его характеристики:

- Объект: электромагнитное поле.
- Наблюдаемые: напряженность, индукция, потенциал, величина тока, энергия и прочие.
- Характеристики: силовая (через напряженности полей), потенциальная.
- Уравнения движения – законы Максвелла.

Опишем совокупность метаоснований, входящих в эти уравнения.

1) Понятие «материя» выражено категорией поля, которая связана с принципом непрерывности (непрерывность силовой линии).

¹ Кудрявцев П. С. История физики [в 3 т.]. Т.2. М.: Учпедгиз, 1956. С. 157.

2) Пространство и время: непрерывность (однородность, изотропность), евклидовость (компоненты векторов полей у Максвелла имеют по три компоненты, что подчеркивает трехмерность пространства).

3) Взаимодействие: близкодействие (диктуется дифференциальной формой уравнений).

Таким образом, в классическом электромагнетизме объединены и обобщены следующие элементы:

Философское объединение: (1) понятие поля обобщает понятия силы и энергии; (2) тенденция редукции к электромагнетизму.

Математическое объединение: константа конечности скорости света – показатель объединения электрического и магнитного поля, поскольку в нее входят магнитная и электрическая постоянные.

Физическое объединение: (1) редукция световых явлений к электромагнитным явлениям; (2) редукция теплового излучения к электромагнитному излучению; (3) синтез электричества и магнетизма как двух исторически различных концепций на основе полевых представлений (объединение электрического и магнитного полей в единое электромагнитное поле).

Зафиксируем список объединений и обобщений классического электромагнетизма в Таблице 10.

Таблица 10 – Список объединений и обобщений классического электромагнетизма

реализация принципа унификации	пример
сохранение – наличие общего закона сохранения	1) Закон сохранения заряда: - электрического (алгебраическая сумма зарядов электрически замкнутой системы сохраняется); - магнитного (отсутствие магнитных зарядов и замкнутость магнитных силовых линий). 2) Принцип непрерывности-близкодействия (атом не может покинуть одну часть пространства и появиться в другой части, не проходя через пространство между ними).
математизация – объединение через концептуальные структуры	Синтез электричества и магнетизма, а также оптических явлений как двух исторически различных концепций на основе математического аппарата векторного анализа.
простота – минимум оснований при прочих равных условиях	Понятие силы можно трактовать как объединяющее, поскольку вектора электрических и магнитных полей описывают действие сил на заряженные тела.
соответствие – объединение через аналогию, преемственность	1) Константа скорости света – показатель объединения электрического и магнитного поля.

	2) Преимущество механистической концепции классической механики Ньютона, поскольку Максвелл интерпретирует электромагнитные явления через гидродинамические и механические аналогии, отсюда интерпретация электромагнитных векторов как указателей действия силы.
объяснение – редукция физических теорий к перспективной теории	В истории физики после признания теории электромагнетизма начались попытки редуцировать известные явления и процессы физики к электромагнетизму. Наиболее известный пример – понятие электромагнитной массы («реальное поле физической активности составляют не тела, но окружающая среда» ¹).
прочее (примеры редукционистского объединения)	1) Отождествление световых явлений с электромагнитными волнами. 2) Отождествление теплового излучения с электромагнитным излучением.
обобщения	1) Понятие вектора обобщает понятие скаляра, поскольку вектор однозначно задается набором координат.

2.2 Теория относительности²

2.2.1 Специальная теория относительности

Прежде чем сформулировать принцип относительности А. Эйнштейн высказывает предпосылку: «для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы»³, которую далее превращает в принцип: «Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся»⁴. В современной версии этот принцип записывается иначе:

¹ Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике. М.: Прогресс, 1967. С. 159.

² Параграф опубликован. Безлепкина Е.А. Обобщение классической физики: специальная теория относительности. Философия науки. 2014. № 2 (61). С. 55-65.

³ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. М.: Наука, 1965. С. 7.

⁴ Там же. С. 10.

«уравнения, выражающие законы природы, инвариантны по отношению к преобразованиям координат и времени от одной инерциальной системы отсчета к другой»¹. Чтобы понять суть обобщения, сопоставим формулировку Эйнштейна с формулировкой Ньютона: «Относительные движения друг по отношению к другу тел, заключенных в каком-либо пространстве, одинаковы, покоится ли это пространство, или движется равномерно и прямолинейно без вращения»².

Эти принципы отличаются не только обобщением механических систем на любые другие. Во-первых, Ньютон рассматривает не механические системы, а движение тела (в пространстве): он не рассматривает системы координат и связанные с ними законы. Эйнштейн говорит о системе координат и инвариантности любых законов природы в этих системах. Во-вторых, Эйнштейн обобщает понятие «состояние» на релятивистские явления. В-третьих, принцип относительности является в механике Ньютона следствием из его законов, а в теории Эйнштейна – самостоятельным основополагающим принципом. В-четвертых, Ньютон, вероятно, говорит о движении относительного пространства, в котором заключены тела; по Эйнштейну система координат движется не вместе с пространством, а в пространстве.

Таким образом, принцип Эйнштейна можно считать обобщением принципа Галилея–Ньютона в математическом смысле: «обобщение как перенесение закономерностей, действительных для одной предметной области на иные предметные области»³.

Второй принцип СТО – принцип постоянства скорости света – формулируется так: «свет в пустоте всегда распространяется с определенной скоростью V , не зависящей от состояния движения излучающего тела»⁴. Постоянство скорости света – это регулятив (запрет), ограничивающий бесконечную скорость распространения световой волны до фиксированной скорости. Для вывода преобразований Лоренца требуется добавить еще одно положение – определение синхронизма часов⁵.

¹ Савельев И. В. Курс общей физики. В 5 кн. Кн. 1. Механика. М.: Наука. Физматлит, 1998. С. 198.

² Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. С. 49.

³ Горский Д. П. Вопросы абстракции и образования понятий. Изд-во Академии наук СССР, 1961. С. 321.

⁴ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. С. 7.

⁵ Наберухин Ю. И. Еще раз о синхронизме часов в специальной теории относительности // Философия науки. 2002. №2. С. 74.

Начнем с классических преобразований, которые формулируются на основе принципа относительности и принципа дальнего действия. Эйнштейн в статье «Принцип относительности и его следствия» пишет о том, что преобразования Галилея содержат два неявных допущения «старой» физики. Первое связано с принципом дальнего действия и формулируется так: «мы не имеем права априори предположить, что можно выверить часы двух групп таким образом, что обе координаты времени элементарного события были бы одинаковыми, иными словами, чтобы t было равно t' »¹. Математически это выражается в виде: $t = t'$. Иными словами, время абсолютно и является одним и тем же для всех инерциальных систем отсчета. Второе допущение связано с пространственной составляющей преобразований и формулируется так: «конфигурация геометрическая (т.е. измерение движущегося тела движущимся с такой же скоростью масштаб) и конфигурация кинематическая (т.е. измерение движущегося тела покоящимся по отношению к нему масштаб) идентичны»². Например, сфера в одной системе отсчета будет также сферой при переходе к другой системе (не происходит кинематического сокращения).

Обратимся к преобразованиям Лоренца. На основе формул преобразований Лоренца Эйнштейн выводит физические следствия, применимые к любой из двух систем в силу принципа относительности³.

Во-первых, кинематическая форма (конфигурация) тела будет отличаться от геометрической сокращением размеров в направлении движения.

Во-вторых, часы в движущейся системе будут идти медленнее, чем те же часы, неподвижные по отношению к рассматриваемой системе. Отметим, что физически отыскать покоящуюся систему невозможно.

В-третьих, как следствие конечной скорости распространения взаимодействий выводится существование причинно-следственных связей (например, рождение элементарной частицы во всех системах отсчета происходит раньше ее распада, т.е. одно событие называется причиной, а другое следствием, если они связаны взаимодействием, распространяющимся не быстрее, чем со скоростью света).

В-четвертых, при предельном переходе преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея–Ньютона. Предельный переход «влечет за собой не просто

¹ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. С. 150.

² Там же. С. 151.

³ Weinstein G. Albert Einstein's Methodology. URL: arxiv.org/pdf/1209.5181.

количественное уточнение теории и ее уравнений, но также – и прежде всего – качественное их усложнение, связанное с введением новых представлений и понятий»¹. При переходе от СТО к классической механике принцип близкодействия трансформируется в принцип дальнодействия.

В–пятых, временная координата входит в формулу преобразований симметрично (равноправно) с пространственными координатами. Такое рассмотрение позволяет вывести инвариант (сохраняющуюся величину) теории относительности, который связан с объединением пространства и времени. Ньютон использовал геометрию Евклида, в которой инвариантом являлась формула расстояния между точками (в пространстве). В СТО используется четырехмерный континуум, инвариант в котором определяется иначе:

$$ds^2 = -d(c^2t^2) + dx^2 + dy^2 + dz^2 = -c^2t^2 + \sum_{i=1}^3 dx_i^2.$$

Здесь переменная «скорость света» умножена на переменную «время», чтобы получить размерность «длина». Введенной метрике соответствует пространство, называемое псевдоевклидовым.

Чтобы унифицировать полученный линейный элемент, следует временную координату ввести симметрично с пространственными координатами, т.е. изменить ее знак ($ict = x_4$). Тогда мы приходим к интервалу вида:

$$ds^2 = \sum_{i=1}^4 dx_i^2$$

В–шестых, Эйнштейн выводит формулу зависимости массы тела от содержащейся в нем энергии – $E_0 = mc^2$ – масса тела есть мера содержащейся в нем энергии. Этот закон является обобщением «за счет объединения двух или нескольких различных законов в один более общий закон»²; а именно, объединение двух законов классической физики – закона сохранения энергии и закона сохранения массы – в один закон сохранения массы–энергии (энергии-импульса). Таким образом, «масса и энергия есть проявление некоторой фундаментальной сущности»³. Относительно

¹ Зельманов А. Л. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной // Бесконечность и Вселенная. М.; Мысль, 1969. С. 295.

² Горский Д. П. Вопросы абстракции и образования понятий. Изд–во Академии наук СССР, 1961. С. 323.

³ Салам А. Элементарные частицы // Успехи физических наук. 1961. №5. С. 141.

«эквивалентности» величин, входящих в формулу, пишет Л. Б. Окунь: «любой массе отвечает энергия, но отнюдь не наоборот: не любой энергии отвечает масса»¹.

Теперь перейдем к рассмотрению некоторых математических понятий и структур. Понятие трехмерного пространственного вектора вследствие объединения категорий пространства и времени обобщается на понятие четырехмерного пространственно-временного вектора. «Вместо прежнего трехмерного вектора импульса частицы $p = mv$ и независимой величины энергии E , мы имеем теперь “4-импульс”»². Поскольку вектор энергии-импульса оказывается инвариантной величиной в четырехмерном мире, постольку появляется объединенный закон сохранения энергии-массы (или энергии-импульса).

Обобщение математических объектов, в частности 4-векторов, продолжается введением понятия тензора. Следует отметить, что в векторной формулировке электродинамики ни электрическое, ни магнитное поле не являются частью 4-вектора; компоненты полей только в тензорной формулировке объединяются в более общую структуру – тензор напряженности электромагнитного поля. Введение тензорного формализма, объединяющего компоненты полей, можно считать более глубоким объединением электричества и магнетизма, чем векторные уравнения Максвелла³.

Преобразования Лоренца являются основным объектом СТО. Г. Я. Мякишев замечает: «Специальная теория относительности принадлежит к числу принципов симметрии или инвариантности, которым удовлетворяют различные фундаментальные теории»⁴. Иначе, можно сказать, что «Теория относительности (специальная – Е. Б.) дает общий критерий допустимости любой физической теории»⁵, а именно: уравнения теории должны быть ковариантны относительно преобразований Лоренца.

Перечислим категории и метаоснования СТО⁶.

1) Пространство–время: объединенная и обобщенная категория, непрерывность (однородность и изотропность), детерминизм, инвариантность (относительность), выраженная законами сохранения

¹ Окунь Л. Б. Понятие массы // Успехи физических наук. 1989. №3. С. 527; Бом Д. Специальная теория относительности. М.: Мир, 1967. С. 117.

² Очерки развития основных физических идей. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. С. 292.

³ Mauldin T. On the unification of physics // The journal of philosophy. 1996. № (93).

⁴ Мякишев Г. Я. Общая структура фундаментальных физических теорий и понятие состояния // Физическая теория. М.: Наука, 1980. С. 426.

⁵ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. С. 421.

⁶ см. Грибанов Д. П. Философские основания теории относительности. М.: Наука, 1982.

2) Взаимодействие: близкоедействие.

Таким образом, в специальной теории относительности объединены и обобщены следующие элементы:

Философское объединение: (1) объединение категорий пространства и времени; (2) объединение понятий массы и энергии.

Математическое объединение: (1) обобщение математического пространства (евклидово $\rightarrow$ псевдоевклидово); (2) преобразования Лоренца обобщают преобразования Галилея, формулы ТО обобщают формулы классической механики и теории электромагнетизма; (3) обобщение математических понятий «событие», «система отсчета», «вектор» (4–вектор); (4) понятие «тензор» обобщает понятия «скаляр» и «вектор».

Физическое объединение: (1) обобщение принципа относительности (механические системы $\rightarrow$ любые неускоренные системы); (2) обобщение принципа инерции (материальные точки движутся по геодезическим); (3) объединение принципа относительности и принципа постоянства скорости света позволяет вывести преобразования Лоренца; (4) классические законы сохранения объединяются на основе тензора энергии–импульса (формула Эйнштейна для энергии ведет к объединению законов сохранения энергии и закона сохранения массы).

Зафиксируем список объединений и обобщений специальной теории относительности в Таблице 11.

Таблица 11 – Список объединений и обобщений специальной теории относительности

реализация принципа	пример
сохранение – наличие общего закона сохранения	Формула Эйнштейна для энергии является объединением двух законов сохранения классической физики – закона сохранения энергии и закона сохранения массы – в один закон сохранения массы–энергии.
математизация – объединение через концептуальные структур	1) Через понятие 4-вектор (вектор энергии–импульса) математически выражается объединение законов сохранения энергии и массы («масса и энергия сходны по существу – это только различные выражения одного и того же» ¹). 2) Через понятие тензор происходит математическое обобщение компонент векторов электромагнитного поля: компоненты электрического E и магнитного H полей объединяются в тензор напряженности электромагнитного поля.

¹ Там же. С. 37.

простота – минимум оснований при прочих равных условиях	1) Объединение принципа относительности и принципа постоянства скорости света (вместе с условием синхронизма) позволяет вывести преобразования Лоренца. 2) Объединение категорий пространства и времени: «псевдоевклидова метрика в пространстве событий носит универсальный характер и объединяет в себе измерение как пространственных, так и временных расстояний»¹.
соответствие – объединение через аналогию, преемственность	1) Преобразования Лоренца представляют обобщение и аналог преобразований Галилея при переходе с релятивистской точки зрения на классическую, поэтому формулы СТО являются обобщением соответствующих формул классической механики. 2) Внешнетеоретическое объединение: «Теория относительности (специальная – Е. Б.) дает общий критерий допустимости любой физической теории»², а именно: уравнения теории должны быть ковариантны относительно преобразований Лоренца.
обобщения	1) Обобщение принципа относительности Галилея, справедливого только для механических систем, до принципа относительности Эйнштейна, справедливого для любых систем, движущихся без ускорения. 2) Понятие события обобщает понятие материальной точки, т.к. событие происходит в момент времени в точке пространства.
прочее (синтетическое объединение)	«После того как было доказано наличие массы (не только инертной, но и гравитационной) у электромагнитных волн, физика достигла глубокого синтеза понятий обычного вещества и электромагнитного поля» ³ .
редукционистское объединение	Тензор напряженности электромагнитного поля объединяет компоненты векторов электрического и магнитного поля не только в одной математической структуре, но и говорит, что эти вектора являются составляющими одной физической сущности.

¹ Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ. М.: Наука, 1967. С. 268.

² Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. С. 421.

³ Кузнецов Б. Г. Основы теории относительности и квантовой механики. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 141.

2.2.2 Общая теория относительности¹

В статье «Принципиальное содержание общей теории относительности» Эйнштейн указывает принципы, на которых основана ОТО – это принцип относительности и принцип эквивалентности².

Принцип эквивалентности, постулирующий, что инерция и тяжесть тождественны как количественно, так и сущностно, является эмпирическим фактом теории Ньютона и становится руководящим принципом теории Эйнштейна. Из этого принципа следует, что локальное гравитационное поле в любой точке пространства может быть заменено локальной системой отсчета, движущейся ускоренно. Отметим, что принцип эквивалентности не универсален (к примеру, приливной эффект – «общая особенность гравитационных полей, которая не может быть «исключена» с помощью свободного падения. Приливной эффект служит мерой неоднородности ньютоновского гравитационного поля»³).

Принцип относительности: «общие законы природы должны быть выражены через уравнения, справедливые во всех координатных системах, т.е. эти уравнения должны быть ковариантными относительно любых подстановок (общековариантными)»⁴. Принцип относительности постулирует равноправие любой координатной системы: декартова система координат, относительно которой тело движется равномерно и прямолинейно (по инерции), перестает быть обособленной. Отсюда возникает требование ковариантности уравнений, которые описывают движение частиц и энергии в пространстве–времени, относительно любых точечных преобразований. Это требование обобщает принцип относительности и приводит к ограничению принципа постоянства скорости света, т.к. постоянство скорости света становится возможным только в инерциальных системах отсчета. В Таблице 12 представлено методологическое описание принципа относительности Эйнштейна.

¹ Параграф опубликован. Безлепкин Е.А., Сторожук А.Ю. Реализация идей объединения в ходе разработки общей теории относительности. *Философия науки*. 2014. № 3 (62). С. 42-53.

² Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. С. 613.

³ Пенроуз: 2003: 170.

⁴ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. С. 459.

Таблица 12 – Методологическое описание принципа относительности Эйнштейна

концептуальный уровень	система координат, уравнения (законы природы), преобразование;
операциональный уровень	уравнения должны быть ковариантны относительно произвольных преобразований;
уровень реализации	1) универсальность (выражена в требовании общей ковариантности); 2) эвристический (для теории относительности – основополагающий) принцип.

Таким образом, принцип относительности Эйнштейна претерпел расширение и обобщение на всех уровнях: произошло обобщение от инерциальной системы координат на любую систему координат; и, соответственно, от преобразований Лоренца к более широкой группе преобразований. В анализируемом виде принцип относительности становится эвристическим и получает универсальную формулировку¹.

Помимо указанных принципов, в построении ОТО важная роль принадлежит принципу соответствия. Он выражается в том, что при предельном переходе к бесконечно малой области пространства–времени, в этой области справедливы законы СТО. Эйнштейн пишет об этом: «для бесконечно малой области координаты всегда можно выбрать таким образом, что гравитационное поле будет отсутствовать в ней. Тогда можно считать, что в такой бесконечно малой области выполняется специальная теория относительности. Тем самым общая теория относительности связывается со специальной теорией относительности, и результаты последней переносятся на первую»².

После характеристики принципов ОТО проследим логическую последовательность шагов, приведших к фундаментальному уравнению ОТО, основываясь на статьях Эйнштейна «Основы общей теории относительности» и «Сущность теории относительности».

Во–первых, выберем в бесконечно малой области гравитационного поля такую ускоренную систему координат, что гравитационное поле в ней отсутствует. Тогда в этой системе будет существовать интервал, вид которого определен в СТО. Требуя,

¹ см. Принцип относительности. М.: Атомиздат, 1973.

² Там же. С. 423.

чтобы интервал оставался инвариантом для преобразований произвольного вида (обобщенный принцип относительности), мы получаем следующее соотношение:

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$$

Эта квадратичная форма обобщает линейный элемент СТО (выполняется принцип соответствия). Коэффициенты $g_{\mu\nu}$ называются фундаментальным метрическим тензором. Их физический смысл в том, что они описывают гравитационное поле относительно заданной системы координат. С точки зрения геометрии они описывают метрические соотношения в пространственно–временном континууме (его искривление). Таким образом, интенсивность искривления пространства–времени – это интенсивность гравитационного поля в некоторой системе координат (объединение геометрии и физики). По этому поводу Эйнштейн писал: гравитационное поле «представляет собой физическое состояние пространства, одновременно определяющее тяготение, инерцию и метрику. В этом заключается углубление и объединение основ физики»¹.

Следующая задача – установить вид дифференциальных уравнений, позволяющих определить величины $g_{\mu\nu}$, а также установить закон движения материальной точки в пространстве. Эйнштейн начинает с закона движения. Здесь используется концепция вариационных принципов (требование соответствия). Эйнштейн использует принцип наименьшего действия в форме Лагранжа:

$$\delta \left\{ \int ds \right\} = 0, \text{ где } ds \text{ – интервал в форме ОТО.}$$

Выполняя вариацию, определяют кратчайшую линию между двумя событиями – геодезическую, которая описывается следующим уравнением:

$$\frac{d^2 x_M}{ds^2} + \Gamma_{\beta\gamma}^M \frac{dx_\beta}{ds} \frac{dx_\gamma}{ds} = 0,$$

где первое слагаемое представляет собой действие на материальную точку сил инерции, а второе слагаемое – действие сил тяготения. То есть уравнение геодезической является обобщением второго закона Ньютона (требование соответствия).

С помощью уравнения геодезической находят уравнение движения материальной точки в гравитационном поле. Классическое уравнение выглядит следующим образом:

¹ Там же. С. 424.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\Delta\varphi, \quad \varphi = \frac{U}{m}.$$

Ускорение пропорционально градиенту потенциала (напряженности) гравитационного поля (это формулировка второго закона Ньютона).

Далее находят уравнения гравитационного поля, действующего в области, лишенной материи, т.е. в области, где отсутствуют источники поля. В классической теории поля – это уравнение Лапласа, которое имеет следующий вид: $\Delta\varphi = 0$. Скалярный потенциал, выражающий напряженность гравитационного поля в классической теории гравитации, заменяется тензорной величиной, а именно тензором Римана ($R^\mu_{\alpha\beta}$), который составлен из величин, играющих роль потенциалов поля. Физический смысл этого тензора заключается в том, что «обращение его в нуль служит достаточным условием... того, что континуум евклидов»¹, а значит в координатной системе этого континуума справедлива СТО. Поскольку в области гравитационного поля, свободного от материи, тензор Римана обращается в нуль, постольку пространственно–временной континуум оказывается не искривленным, т.е. евклидовым.

Затем выводят уравнение общего вида, которое включает описание источников гравитационного поля. Ссылаясь на классическую теорию поля, Эйнштейн пишет, что ищет аналог уравнения Пуассона: $\Delta\varphi = 4\pi G\rho$. Уместно процитировать Эйнштейна: во–первых, «источником гравитационного поля является плотность вещества ρ . Также должно быть и в общей теории относительности. Но специальная теория относительности показывает, что вместо скалярной плотности вещества мы должны оперировать с тензором энергии» и, во–вторых, «Если в общей теории относительности существует уравнение, аналогичное уравнению Пуассона, то оно должно быть тензорным уравнением для тензора гравитационного потенциала $g_{\mu\nu}$ »².

Таким образом, Эйнштейн приходит к уравнению³:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = -\chi T_{\mu\nu}.$$

Уравнение описывает характер кривизны пространственно–временного континуума, т.е. характер тяготения в зависимости от наличия и распределения энергии–импульса в этом континууме. Иначе можно сказать, что распределение и

¹ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том II. С. 59.

² Там же. С. 63–64.

³ см. Визгин В. П. Релятивистская теория тяготения. М.: Наука, 1981.

движение масс в пространственно–временном континууме влияет на геодезические линии, т.е. на тяготение. Следует отметить нелинейность уравнений по отношению к переменным, что означает, что гравитационное поле порождает само себя. С геометрической точки зрения, изменение метрического тензора характеризует меру кривизны пространства, производные $g_{\mu\nu}$ выражают меру искривления, а символы Кристоффеля выражают искривление координат в различных направлениях.

Выделим исходный объект ОТО и его характеристики:

- Объект: гравитационное поле (взаимодействие).
- Наблюдаемые: скорости, ускорения, импульсы, энергия, потенциал, компоненты метрического тензора, координаты.
- Уравнения движения – уравнение Эйнштейна.

Перечислим категории и метаоснования ОТО.

- 1) Категория «материя» выражена: категорией энергии (–массы), которая связана с соответствующим принципом сохранения; категорией поля (гравитационного).
- 2) Пространство–время: непрерывность (однородность и изотропность), инвариантность (относительность), выраженная законами сохранения, искривленность. (Категория «пространство–время» объединяется с категорией «материя» вследствие постулирования принципа эквивалентности – геометризация физики.)
- 3) Взаимодействие: близкодействие.

Таким образом, в общей теории относительности объединены и обобщены следующие элементы:

Философское объединение: (1) объединение понятий массы и энергии; (2) синтез категорий пространства–времени и материи (массы).

Математическое объединение: (1) обобщение математического пространства (евклидово $\rightarrow$ псевдоевклидово $\rightarrow$ риманово); (2) понятие «тензор» обобщает понятия «скаляр» и «вектор».

Физическое объединение: (1) обобщение принципа относительности (механические системы $\rightarrow$ любые неускоренные системы $\rightarrow$ любые системы); (2) объединение принципа эквивалентности (релятивистски обобщенной классической теории тяготения) и принципа относительности позволяет вывести уравнения ОТО; (3) отождествление геометрии (искривленный пространственно–временной континуум) и физики (тяготение); (4) отождествление гравитационной и инертной масс.

Зафиксируем список объединений и обобщений общей теории относительности в Таблице 13.

Таблица 13 – Список объединений и обобщений общей теории относительности

реализация принципа	пример
редукционистское объединение, на котором основана ОТО ¹	1) Принцип эквивалентности отождествил гравитационную и инертную массы, что привело к отождествлению геометрии (искривление пространственно–временного континуума) и физики (тяготения). «Теория Эйнштейна представляет собой синтез законов Пифагора (метрика пространства – Е. Б.) и Ньютона (динамизм, т.е. закон движения – Е. Б.) ² .
синтетическое объединение	Объединение категорий пространства–времени и материи: «В то время как специальная теория относительности объединила в одном понятии пространство и время, общая теория относительности объединила пространство, время и материю в один геометрический образ – метрическую геометрию риманова типа в четырехмерном мире» ³ .
сохранение – наличие общего закона сохранения	1) Интегральная формулировка вариационных принципов требует равенства нулю (сохранения) функции Лагранжа на участке интегрирования. 2) «Общая теория относительности рассматривает законы сохранения как четыре (по числу измерений пространства–времени) аспекта единой, абсолютной, инвариантной, четырехмерной кривизны мира» ⁴ .
математизация – объединение через концептуальные структуры	Уравнения ОТО тензорные: «С общей точки зрения можно говорить об одних тензорах, считая закономерным образом скаляры тензорами нулевого ранга, векторы – тензорами 1–ого ранга и рассматривая спиноры... как тензоры ранга S и других полуцелых рангов. Тем самым было произведено глубокое объединение разнообразных величин» ⁵ .
простота	Принцип наименьшего действия из которого получение уравнение движения – наиболее фундаментальный принцип для получения уравнений движения как классических, так и неклассических теорий.
соответствие – обобщение и преемственность	1) ОТО в виду принципа соответствия становится предельным СТО при переходе к бесконечно малым областям пространства–времени, а значит ОТО – обобщение не только СТО, но и соответствующих формул классической механики. 2) Обобщение принципа инерции: «существуют прямые мировые линии в евклидовом мире, они изображают движения тел не испытывающих движения сил... Общая теория относительности исключает из такого

¹ Zahar E. G. Einstein, or the Essential Unity of Science and Philosophy Revista // Portuguesa de Filosofia. № 61.

² Борн М. Эйнштейновская теория относительности. М.: Мир, 1964. С. 408.

³ Ланцош К. Вариационные принципы механики. М.: Мир, 1965. С. 334.

⁴ Кузнецов Б. Г. Основы теории относительности и квантовой механики. М.: Изд–во АН СССР, 1957. С. 111.

⁵ Очерки развития основных физических идей. М.: Изд–во Академии наук СССР, 1959. С. 292.

	определения инерционных движений только одно требование – «в эвклидовом мире» и заменяет его более широким «в римановом мире». Тогда прямые превращаются в геодезические линии, и инерционное движение объединяется с движением под действием силы (только силы тяжести!) одним определением: существуют геодезические линии в римановом мире, по которым движутся все тела»¹. 3) Обобщение принципа относительности с инерциальных систем на неинерциальные. 4) Обобщение категории пространства: обобщение четырехмерного псевдоевклидова пространства на четырехмерное псевдориманово.
прочее	«Общая теория относительности явилась синтезом релятивистски обобщенной ньютоновской теории тяготения, теории искривленного четырехмерного пространства–времени и, наконец, обобщения принципа относительности равномерных движений на движения ускоренные»².

2.3 Квантовая механика

Начало квантовой механики положил М. Планк, выдвинув первую квантовую гипотезу о том, что энергия является дискретной величиной. Эта гипотеза возникла для объяснения распределения энергии в спектре испускания абсолютно черного тела. Формулы, полученные на основе представлений классической физики, расходились с опытом, что свидетельствовало о существовании закономерностей, несовместимых с классической физикой. Планк пишет: «В стремлении достигнуть понимания экспериментальных фактов на основе обоих начал термодинамики я пришел к радикальной гипотезе, что множество состояний, в которых может находиться колеблющаяся излучающая система, является дискретным, счетным, а различие между двумя такими состояниями характеризуется одной универсальной постоянной, элементарным квантом действия»³.

¹ Кузнецов Б. Г. Основы теории относительности и квантовой механики. С. 140–141.

² Очерки развития основных физических идей. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. С. 292.

³ Планк М. Избранные труды. М.: Наука, 1975. С. 512.

Планк вводит предположение, что энергия дискретна и пропорциональна кванту действия: $e = h\nu$ ¹. С помощью этого предположения он вывел формулу, которая обобщила формулы, полученные на основе представлений классической физики.

Концепция кванта действия появилась следующим образом. После теории Максвелла и опытов Герца и Лоджа ученые признали, что тепловое излучение имеет электродинамическую природу. Тепловое излучение подчиняется второму началу термодинамики (энтропия), концепция энтропии описана в термодинамических понятиях. Однако электродинамическая природа тепла требует найти электромагнитное определение энтропии. В определении, данном Планком, содержалась константа « h », размерность которой (энергия*время), т.е. (действие); отсюда название – «квант действия».

Таким образом, постоянная Планка возникла как результат редукции термодинамических концепций к электромагнитным. Впоследствии она была интерпретирована квантовомеханически как коэффициент пропорциональности между энергией и частотой излучения. Энергетическая формула Планка получена как синтез классических и квантовых концепций.

Квантовая механика в виде завершенной системы возникла в двух вариациях – волновая механика и матричная механика. Луи де Бройля можно считать основателем волной механики, т.к. из его идей выводят условия устойчивости атомов (основания теории Бора) и основное уравнение волновой механики (уравнение Шредингера).

В основе идей де Бройля² лежат два обобщающих предположения: во-первых, объединение оптического и механического вариационных принципов; во-вторых, объединение энергетических концепций релятивизма и квант (релятивистское $E_0 = mc^2$ и квантовое $E_0 = h\nu$).

Первое объединение можно назвать гипотезой корпускулярно-волнового дуализма. Оно возникло на основе оптико-механической аналогии У. Гамильтона, по которой «классическую механику можно рассматривать как аналог геометрической оптики»³. Из сопоставления механического и оптического вариационных принципов можно сделать вывод, что «принцип Ферма, примененный к фазовой волне, идентичен... (принципу наименьшего действия – Е. Б.), примененному к движущемуся телу. Возможные

¹ Там же. С. 290.

² см. Бройль Л. Революция в физике. М.: Атомиздат, 1965.

³ Голдстейн Г. Классическая механика. М.: Наука, 1975. С. 341

динамические траектории идентичны с возможными лучами волны»¹. Таким образом, можно предположить, что корпускулярный и волновой способ описания распространения вещества аналогичны. Отсюда возникает первое объединение, из которого следует вывод о существовании волн вещества².

Уместно привести высказывание де Бройля: «рассмотрим движущееся со скоростью $v = \gamma \tilde{v}$ ($\gamma < 1$) тело с собственной массой m_0 . В соответствии с принципом инертности энергии, это тело должно обладать внутренней энергией, равной $E = m_0 c^2$. Вместе с тем принцип квантов заставляет приписать эту энергию некоему синусоидальному процессу с частотой ν_0 , для которой справедливо соотношение $h\nu_0 = m_0 c^2$ »³. Отсюда можно получить формулу, в которой происходит объединение корпускулярной и волновой физик $p = \hbar k$. Таким образом, квантово-механические идеи де Бройля возникли как синтез положений классической (вариационные принципы), и квантовой физики (формула Планка).

Э. Шредингер, развивая идеи де Бройля, получил в 1926 году основное уравнение волновой механики, которое является синтезом корпускулярного и волнового описаний квантово-механического объекта. Уравнение Шредингера, во-первых, является уравнением волны, однако описывает динамику квантовой частицы; во-вторых, основано на вариационном принципе Гамильтона, а вариационные принципы синтезируют континуальный и дискретный аспекты движения.

Исходное уравнение теории Шредингера – вариационный принцип Гамильтона-Якоби. Использование этого принципа подчеркивает, во-первых, преемственность классической и квантовой теорий, во-вторых, большую общность квантовой теории. Так, при стремлении постоянной Планка к нулю становится ясно, что «классическая механика является лишь приближением волновой механики»⁴.

Шредингер использует формальную аналогию, в которой уравнение Гамильтона-Якоби рассматривается как уравнение распространения волны (геодезическая). Функция, выражающая решение этого уравнения, называется главной функцией Гамильтона. Она есть произведение ψ -функции на постоянную Планка. Поскольку уравнение рассматривается в пространстве конфигураций, постольку ψ функция теряют

¹ Полак Л. С. Вариационные принципы механики. М.: Физматгиз, 1960. С. 659

² см. Гааз. А. Э. Волны материи и квантовая механика. М.; Л.: Гостехиздат, 1933

³ Бройль Л. де Волны и кванты // Успехи физических наук. 1967. № 9. С. 178.

⁴ Голдстейн Г. Классическая механика. М.: Наука, 1975. С. 343.

наглядную аналогию. Как писал Э. Шредингер: «естественно связать функцию ψ с некоторым колебательным процессом в атоме, в котором реальность электронных траекторий в последнее время неоднократно подвергалась сомнению»¹.

Отметим аналогию между уравнением Шредингера и классическим уравнением для энергии Эйнштейна. На основе принципа соответствия, заменяя классические переменные операторами, можно получить из уравнения Эйнштейна уравнение Шредингера. Наличие этой аналогии позволяет утверждать, что существуют отношения преемственности между классической и квантовой теориями в нерелятивистской области.

Работы Н. Бора были направлены на разработку философского и методологического понимания основ квантовой физики. Бор сформулировал несколько принципов физического познания, на основе которых сумел решить многие философские вопросы квантовой механики².

Первый принцип – принцип соответствия. Исходное условие – существование аналогии между классической и квантовой теориями. Бор говорит о возможности представить орбиту электрона как классический эллипс, переход электрона между орбитами (от одного стационарного состояния к другому) характеризуется выделением или поглощением энергии³. Таким образом, с помощью принципа соответствия Бор смог объяснить изменение энергии атома при его возбуждении. Принцип соответствия объявляет, что в предельном случае старая и новая теория должны приводить к одним и тем же результатам, а значит новая теория в пределе переходит в старую. Поэтому можно считать, что две теории, связанные принципом соответствия объединены в том смысле, что новая теория есть расширение и обобщение старой.

Второй принцип – принцип дополненности. Выделим два исходных условия. Первое – «как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные описываются при помощи классических понятий»⁴. Второе – «поведение атомных объектов невозможно резко отграничить от их

¹ Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976. С. 17.

² см. Фок В. А. Начала квантовой механики. М.: Наука, 1976.

³ см. Бор Н. Избранные научные труды. Т. 2: Статьи, 1925–1961. М.: Наука, 1971. С. 14.

⁴ Там же. С. 406.

взаимодействия с измерительными приборами, фиксирующими условия, при которых происходят явления»¹.

Один из основных постулатов классической физики (назовем его постулатом прямого действия) основан на том, что в процессе опыта можно не учитывать действие объекта на прибор (поэтому не нужно отграничивать их друг от друга). Принцип дополнительности учитывает обратное влияние, которое в квантовой механике принципиально неустранимо, ввиду чего требуется отграничение прибора от объекта: т.е. между субъектом и объектом существует взаимное действие. Принцип дополнительности утверждает, что «описание физических свойств микроскопических объектов на классическом языке требует использования пар дополнительных переменных, причем каждый член пары определяется тем точнее, чем менее точно управляется другой»².

С помощью принципа дополнительности Бор интерпретировал принцип неопределенностей Гейзенберга и явление корпускулярно-волнового дуализма.

Первая интерпретация: проводя эксперимент над микросистемой, ввиду неконтролируемости обратного действия объекта на прибор, мы можем точно узнать либо координату объекта (тогда неконтролируемое обратное действие создаст неопределенность в импульсе, либо наоборот).

По поводу второй интерпретации приведем высказывание М. А. Маркова: «Как различные траектории одной и той же частицы – параболу и прямую – нельзя понимать сосуществующими в данной системе координат, так и точные понятия импульса и координаты классической частицы в применении к микрочастице нельзя представить сосуществующими в данном опыте»³. В опыте всегда проявляются либо корпускулярные, либо волновые свойства атомной системы, отображаемые соответствующей группой приборов. То есть количественное выражение принципа дополнительности – это принцип неопределенности. Таким образом, некоторые физические понятия не имеют смысла сами по себе (абсолютно), а имеют смысл только в связи с некоторой системой (относительно).

Воспроизведем основные положения теории Дирака. Исходное положение заключается в том, что многообразие физических понятий сопоставляются

¹ Там же.

² Мессиа А. Квантовая механика. Т.1. М.: Наука, 1978. С. 154.

³ Марков М. А. О трех интерпретациях квантовой механики. М.: Наука, 1991. С. 23.

математические понятия (такое сопоставление называется «параметризацией»). Физические объекты, которые необходимо математически исследовать, должны быть «параметризованы» или «измерены».

Первое положение Дирака составляет принцип суперпозиции состояний, который утверждает, что любое физическое состояние квантово–механической системы может быть линейно выражено через суперпозицию (наложение) нескольких других состояний¹. Второе положение заключается в том, что физическому понятию «состояние динамической системы» сопоставляется математическое понятие «вектор» (в бесконечномерном пространстве Гильберта)². Третье положение. Если в классической физике состояние физической системы описывается при помощи динамических переменных (координата, импульс), то в квантовой механике динамическим переменным, описывающим физическую величину, ставятся в соответствие линейные операторы. Четвертое положение. Процесс измерения, совершаемый над квантово–механической системой, вызывает возмущение, которое вызывает «скачок» системы из неопределенного (вероятностного) состояния в некоторое определенное (точное в числовом плане) состояние. Это утверждение получило название проекционного постулата.

Помимо этого, отметим положение о вероятностной интерпретации понятия «вектор состояния», которое состоит в том, что вероятность результата измерения квантово–механической переменной равна квадрату модуля вектора состояния (волновой функции) этой переменной. Если волновая функция известна, то известно распределение вероятностей наблюдаемых величин.

Реконструируем путь Дирака по объединению теорий Гейзенберга и Шредингера. Вначале он вводит понятие «представления». Это способ «согласно которому абстрактные величины заменяются числами»³. Далее Дирак предположил, что любую систему частиц мы можем характеризовать двумя переменными (во времени ли в пространстве) величинами – либо состоянием системы, либо динамическими переменными. Уравнение Шредингера выводится из предположения, что «изменение динамическим условий со временем можно приписать... изменению состояния, считая

¹ Дирак П. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979. С. 24.

² Там же. С. 29–34.

³ Там же. 77.

динамические переменные постоянными»¹. Уравнение Гейзенберга он вывел из предположения, что изменяются динамические переменные, в то время как состояние считается постоянным. Связь между картинами движения осуществляет через унитарное преобразование соответствующих переменным линейных операторов.

Таким образом, квантовая теория Дирака представляет более глубокий подход к описанию неклассических объектов. Формализм Дирака показал, что теории Шредингера и Гейзенберга восходят к единым физическим и алгебраическим принципам и могут быть сформулированы как варианты «представлений» квантово-механической системы с помощью понятия «вектор состояния».

Выделим исходный объект квантовой механики и его характеристики:

- Объект: вектор состояния.
- Наблюдаемые: динамические переменные (энергия, импульс, координата и прочие), волновая функция, линейный оператор Гейзенберга.
- Характеристики: представление Шредингера, представление Гейзенберга.
- Уравнения движения – уравнение Шредингера или уравнение Гейзенберга.

Проанализируем основные уравнения движения и выявим лежащие в их основе метаоснования.

Уравнение Шредингера $E\psi(r) = H\psi(r)$. Уравнение Гейзенберга $\frac{d}{dt}v = (v, H)$.

1) Категория «материя» выражена: категорией массы (частица), категорией поля (волновые свойства частиц).

Объединение категории частиц и полей в категорию поля амплитуды вероятности².

2) Пространство–время: классические категории, являющиеся фоном, на котором происходят физические события³.

3) Взаимодействие: близкодействие.

Таким образом, в нерелятивистской квантовой механике объединены и обобщены следующие элементы:

Философское объединение: (1) объединение понятий массы (частиц) и поля в понятие поля амплитуды вероятности; (2) объединение категорий континуального

¹ Там же. С. 153.

² Владимиров Ю. С. Метафизика. М.: БИНOM. Лаборатория знаний, 2009. С.156–158.

³ см. Мостепаненко А. М. Пространство и время в макро–, мега– и микромире. М.: Политиздат, 1974.

(волна) и дискретного (частица); (3) принцип дополнительности объединяет альтернативные описания физического объекта; (4) новая теория есть обобщение старой и между ними существуют отношения предельного перехода (принцип соответствия).

Математическое объединение: (1) обнаружение эквивалентности теорий (представлений) Гейзенберга и Шредингера; (2) понятие оператора обобщает понятие функции.

Физическое объединение: (1) объединение квантовой механики и специальной теории относительности (релятивизация квантовой механики); (2) объединение волновой и корпускулярной теорий света в квантовой механике Дирака; (3) объединение оптического и механического вариационных принципов позволило получить представления о корпускулярно–волновом дуализме; синтез принципов дает единое основание для классической корпускулярной механики и геометрической оптики; (4) уравнение Шредингера – синтез классического корпускулярного (классическая механика) и волнового (волновая оптика) описаний неклассического объекта; (5) постоянная Планка – результат редукции теории теплового излучения к теории электромагнитного излучения; (6) объединение нерелятивистской формулы Эйнштейна для энергии и квантовой формулы Планка для энергии ($E=m_0c^2$ и $E=h\nu$) позволяет получить представление о волнах материи.

Зафиксируем список объединений и обобщений квантовой механики в Таблице 14.

Таблица 14 – Список объединений и обобщений квантовой механики

реализация принципа	пример
сохранение – наличие общего закона сохранения	1) На законе сохранения энергии основаны уравнения движения Шредингера и Гейзенберга квантовой механики. 2) Уравнения движения получены методом аналогии из вариационных принципов (Шредингер использовал принцип Гамильтона-Якоби), которые являются своеобразными законами сохранения.
математизация – объединение через концептуальные структуры	Понятия функционального анализа. Физическому понятию «состояние динамической системы» сопоставляется математическое понятие «вектор» (в бесконечномерном пространстве Гильберта). Динамическим переменным, описывающим физическую величину, ставятся в соответствие линейные операторы. Отметим, что в квантовой теории используется бесконечномерное гильбертово пространство, которое является обобщением евклидова пространства.
простота – минимум оснований	Принцип наименьшего действия – наиболее фундаментальный принцип для получения уравнений движения как классических, так и неклассических теорий.

соответствие обобщение преемственность	– и	1) Принцип соответствия: новая теория есть расширение и обобщение старой и между ними существуют отношения предельного перехода. 2) Аналогия между уравнением Шредингера и классическим уравнением для энергии Эйнштейна. Существуют отношения преемственности между классической и квантовой теориями в нерелятивистской области.
дополнительность		1) Принцип дополнительности объединяет «противоположные» описания результатов опытов в одну картину, которая исчерпывает все, что можно узнать о квантовомеханической системе. 2) Уравнение Шредингера – синтез классического корпускулярного (классическая механика) и волнового (волновая оптика) описаний неклассического объекта.
синтетическое объединение		1) Объединение нерелятивистской формулы Эйнштейна для энергии и квантовой формулы Планка для энергии ($E=m_0c^2$ и $E=h\nu$) позволяет получить представление о волнах материи. 2) Объединение оптического и механического вариационного принципов на основе оптико–механической аналогии Гамильтона позволило получить представление о корпускулярно–волновом дуализме; синтез принципов дает единое основание для классической корпускулярной механики и геометрической оптики, которую можно рассматривать как классическую волновую механику.
редукционистское объединение		1) В квантовой теории Дирака объединяются представления Шредингера и Гейзенберга. 2) Постоянная Планка является результатом редукции теории теплового излучения к электромагнитной теории. 3) Объединение волновой и корпускулярной теории света в квантовой механике Дирака (показано, что ансамбль бозонов и ансамбль осцилляторов представляют собой одно и то же явление, рассматриваемое с разных точек зрения).
прочее		Объединение категорий частиц и полей в категорию поля амплитуды вероятности.

3.1 Интерпретации квантовой механики¹

Исходя из положений П. Дирака и в согласии с А. Садбери, мы будем утверждать, что «интерпретация квантовой механики – это по существу ответ на вопрос «Что такое

¹ Параграф опубликован. Безлепкина Е.А. Общефилософские основания интерпретаций квантовой механики. – Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. 2014 №3 (203). С. 118-126.

вектор состояния?»¹. В формулировке Шредингера ему соответствует понятие волновой функции, в формулировке Гейзенберга ему соответствует линейный оператор.

Как указано выше, соответствие между понятием «вектор состояния» и понятием «состояние квантово–механической системы» не взаимно–однозначно, в силу чего мы приходим к выводу, что *вектор состояния не определен в операционалистском смысле*.

По этому поводу появляются следующие вопросы. Во–первых, возникает ли множество интерпретаций в связи с тем, что вектор состояния не определен операционально? Во–вторых, можно ли операционально определить вектор состояния?

Для того чтобы ответить на первый вопрос, сравним понятие вектора состояния с основным объектом теории электромагнетизма Максвелла – вектором напряженности электромагнитного поля. Во–первых, Максвелл сразу интерпретирует свое понятие. Он пишет, что «это сила, которая действовала бы на малое тело, заряженное единичным положительным зарядом, если бы его поместили в эту точку, не исказив имеющегося распределения электричества»². Причем эта интерпретация создает отношения преемственности с классической механикой. Во–вторых, за интерпретацией следует описание определенного набора действий (идеальных экспериментальных процедур), выполнив который, мы получим величину и направление вектора.

Переходя к рассмотрению вектора состояния, мы можем заметить, что ни Шредингер, ни Дирак не интерпретировали свои ключевые понятия. Например, Шредингер пишет: «Довольно естественно связывать функцию ψ с некоторым колебательным процессом в атоме... Я не считаю возможным, до тех пор пока не будут успешно рассчитаны новым способом более сложные задачи, подробнее рассматривать истолкование введенного колебательного процесса»³.

Таким образом, мы приходим к выводу, что существование множества интерпретаций квантовой механики связано с рядом следующих причин:

- 1) не задана авторская интерпретация основных понятий КМ, согласующаяся с классической физикой;
- 2) сторонние интерпретации в большинстве случаев не имеют преемственных отношений с классической физикой;

¹ Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. М.: Мир, 1989. С. 292.

² Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т.1. М.: Наука, 1989. С. 86.

³ Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976. С. 18.

3) невозможно определить понятие «вектор состояния» операционально, т.е. в виде совокупности экспериментальных процедур, которые бы дали правила для различения векторов состояния. Невозможность операционального определения заложена в аксиоматике квантовой механики.

Вследствие множественности интерпретаций требуется проверка на непротиворечивость. Для этого сначала более подробно исследуем «состав» квантовой теории. Она делится на два блока: теория замкнутой квантовой системы (система описывается уравнением Шредингера, которое детерминистически характеризует ее поведение до процесса измерения); и теория измерений (проекционный постулат описывает взаимодействие системы с измерительным прибором (акт измерения), причем он имеет принципиально вероятностную природу).

Таким образом, говоря об особенностях КМ, мы говорим в основном об особенностях теории измерений. Перечислим основные особенности¹:

1) Индетерминированность (не существует одновременных определенных значений тех характеристик, которыми наделена частица в классической механике; не определен статус наблюдаемых, когда система не находится в собственном состоянии).

2) Несепарабельность (возможность получения информации об одной из квантово-механических подсистем, производя эксперименты над другой).

3) Проекционный постулат. Вводит: дуалистичность (разделение описания мира на микроскопический объект и макроскопический прибор); индетерминизм (положения результатов измерения имеют вероятностный характер); так же он не учитывает возможности проведения непрерывных наблюдений.

В связи с множественностью интерпретаций появляется вопрос о том, можно ли сократить число различных интерпретаций и до какой степени, если возможно². Нам кажется, что единственную онтологию (интерпретацию) КМ нельзя построить исходя только из самой КМ. Описать мир целостно и непротиворечиво можно через объединенную теорию, которой будет соответствовать объединенная онтология, причем одной из ее частей и станет онтология квантовой механики. То есть следует потребовать согласование интерпретаций КМ с теориями, которые являются обобщениями квантовой механики, например, квантовой теорией поля, теорией суперструн. Таким

¹ см. Кемпфер Ф. А. Основные положения квантовой механики. М.: Мир, 1967.

² см. Tegmark M. The Interpretation of Quantum Mechanics: Many Worlds or Many Words? – URL: arXiv:quant-ph/9709032.

образом, мы как бы добавляем «внешние ограничения» на определение понятия «вектор состояния».

Вновь обратимся к теории электромагнетизма Максвелла. Если попытаться геометризовать эту теорию, т.е. согласовать ее с моделью общей теории относительности, то мы должны интерпретировать компоненты электромагнитного поля не как силы, а как искривление пространственно–временного 5–мерного многообразия. С другой стороны, если расширить эту теорию на квантовую область (в рамках теории великого объединения), то мы получим понятие «квантованного поля», где существуют частицы, на которые действуют силы.

Таким образом, «квантовое» расширение теории электромагнетизма подтверждает интерпретацию векторов электромагнитного поля как сил. «Геометрическое» расширение приводит к другой интерпретации. Окончательная интерпретация электромагнетизма, как нам кажется, будет связана с еще более обобщенной теорией. В настоящее время существуют теории, которые пытаются объединить обе вышеприведенные интерпретации на основании понятия калибровочной симметрии.

Обратимся к квантовой механике. Например, в квантовой теории поля формализмы (представления) Шредингера и Гейзенберга неравнозначны: для ее построения используется представление Гейзенберга¹. То есть, описания, эквивалентные в нерелятивистской КМ, оказываются неэквивалентными в релятивистской версии теории, которая применяется для описания не только частиц, но и полей. Точно также можно поступить с интерпретациями.

Опишем попытку построения объединенной онтологии на основе принципа наименьшего действия. Обобщенная интерпретация КМ соответствует сумме интерпретаций Фейнмана, Фока и позднего Гейзенберга. Она является монистической и синтезирует в себе как индетерминизм (вероятностное описание на микроуровне), так и детерминизм (причинное описание на макроуровне).

Основное понятие этой интерпретации – потенциальная возможность. В. А. Фок пишет: «Описываемое волновой функцией состояние объекта является объективным в том смысле, что оно представляет объективную (независящую от наблюдателя) характеристику потенциальных возможностей того или иного результата

¹ Дирак П. Лекции по квантовой электродинамике // Собрание научных трудов: Т. 1, Квантовая теория (монографии, лекции). М.: Физматлит, 2002.

взаимодействия атомного объекта с прибором... Но это объективное состояние не является еще действительным, в том смысле, что для объекта в данном состоянии указанные потенциальные возможности еще не осуществились. Переход от потенциально возможного к осуществившемуся, к действительному, происходит в заключительной стадии опыта»¹. Таким образом, вектор состояния интерпретируется как амплитуда вероятности, причем полная амплитуда вероятности для микрообъекта определяется как сумма вкладов от всех *возможных* траекторий движения. Сложение потенциальных возможностей выявляет траекторию с наибольшей вероятностью. Так происходит переход от (потенциально) *возможного* к (осуществившемуся) *действительному*.

Эту интерпретацию можно расширить на область действия не только классической механики, но и теории относительности. Это можно сделать, используя теорию струн как обобщенную теорию, которая также основывается на вариационных принципах механики. Как пишет В. Э. Терехович: «Если теория струн верна (доказательств этого пока нет), можно предположить, что принцип максимального старения тоже является приближением метода интегралов по траекториям. При увеличении масштаба пульсирующая ткань многомерного запутанного пространства–времени схлопывается и сглаживается до 4–мерного. Поскольку только в нем макрообъекты устойчивы, все возможные траектории в 10–мерном пространстве в результате интерференции сводятся к траекториям в 3–мерном. В таком случае не только классическая механика, но и общая теория относительности может стать частным случаем квантовой механики»². Таким образом, можно получить согласованную интерпретацию не только для квантовой механики, но и для классической физики.

¹ Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики // Успехи физических наук. 1957. № 4. С. 468.

² Терехович В. Э. Вероятностный и геометрический языки физики в контексте принципа наименьшего действия // Философия науки. 2013. № 1. С. 86.; см. Терехович В. Э. Интерференция возможностей, или Как «интегралы по траекториям» объясняют вероятностную причинность // Философия науки. 2012. № 2.

2.4 Квантовые теории поля, гипотетические теории объединения

2.4.1 Квантовая электродинамика

Релятивистская квантовая механика начинается в 1926 г. с вывода релятивистского дифференциального волнового уравнения Клейна–Гордона, которое описывает состояние свободных квантовых объектов с нулевым спином при больших энергиях. При малых энергиях эти объекты описываются нерелятивистским уравнением Шредингера. Основной недостаток уравнения в том, что выражение для плотности вероятности и значения энергии в решениях могли быть и положительными и отрицательными.

Проблема была связана с наличием в уравнении второй производной по времени от волновой функции. П. Дирак смог найти новое уравнение первого порядка относительно производной по времени и по координате (они вошли в уравнение симметрично). Его уравнение описывает квантовые частицы со спином S (фермионы) и предсказывает частицы с отрицательной энергией – античастицы (позитроны), но не описывает взаимодействий элементарных частиц при высоких энергиях. В связи с этим следовало обобщить квантовую механику на случай релятивистских скоростей, в связи с чем возникла квантовая теория поля.

Формализм квантовой теории поля развивался как аппарат для описания излучения. КТП возникла из объединения СТО и квантовой механики. С. Вайнберг писал по этому поводу: «Если частица испытывает резкий толчок, то не создается каких-либо мгновенных изменений сил... действующих на соседнюю частицу, так как, согласно теории относительности, никакой сигнал не может распространяться со скоростью большей, чем скорость света... частица, испытавшая толчок, создает поле, которое переносит энергию и импульс через окружающее пространство»¹.

В 1926 году Борн, Гейзенберг и Иордан проквантовали электромагнитное поле, представив его как решетку, в узлах которой находятся кванты, а между узлами поле подобно струне с закрепленными концами. То есть поле представляется как набор связанных гармонических осцилляторов. Физически квантованные поля – это

¹ Вайнберг С. Единые теории взаимодействия элементарных частиц // Успехи физических наук. 1976. № 3. С. 507.

«непрерывные в пространстве и времени поля, проявляющиеся в виде дискретных эффектов, с которыми связываются модельные представления о частицах»¹. К понятию квантового поля можно подойти с нескольких сторон: можно рассматривать его как аналог классического поля или вводить операторы рождения и уничтожения частиц, т.е. операторы, которые повышают или понижают степень возбуждения осцилляторов поля.

Примерно с 1930-х гг. возникла проблема расходимостей. Типичный пример: при излучении фотона электроном, а затем его поглощении электростатическое отталкивание внутри одного электрона приводит к бесконечно большой собственной энергии. Решение проблемы расходимости дает теория перенормировок. Идея заключалась в том, чтобы связать возникающие бесконечности с поправками к массе и заряду той величины, которая зафиксирована в эксперименте. Например, для случая с электроном следует предположить, что его начальный заряд бесконечно велик, тогда бесконечности взаимно сокращаются. В уравнения входят не реальные наблюдаемые величины, а нормированные величины. Совпадение теоретических данных с эмпирическими обосновывает корректность процедуры. Проблема расходимостей способствовала объединению электромагнитных и слабых взаимодействий.

Окончательный ковариантный вид квантовой электродинамике придали Фейнман, Швингер, и Томонага. Она рассматривает взаимодействие между заряженными частицами как следствие обмена виртуальными фотонами, которые являются квантами электромагнитного поля. Понятие виртуальной частицы объясняется принципом неопределенностей Гейзенберга. Приведем пояснение Х. Джорджи: «Принцип неопределенности не отменяет законы сохранения энергии и импульса, но он позволяет закрывать глаза на их временное нарушение, если баланс восстанавливается достаточно быстро. Неподвижные электроны имеют такие же энергии и импульсы до излучения виртуального фотона и после его поглощения; законы сохранения нарушаются лишь на короткое время перелета фотона»².

¹ Френкель И. Я. Замечания к квантово-полевой теории материи // Успехи физических наук. 1950. № 9. С. 73.

² Джорджи Х. Единая теория элементарных частиц и сил // Успехи физических наук. 1982. №2. С. 292.

Существование кванта электромагнитного поля с зарядом позволяет рассматривать соответствующую ему алгебру¹. Каждому заряду можно сопоставить оператор тока; если ток является сохраняющейся величиной, то заряд является интегралом движения. Поэтому он может рассматриваться как эрмитов генератор некоторого семейства унитарных операторов. Поскольку с эрмитовым генератором можно ассоциировать частицу, постольку и заряду можно сопоставить частицу (квант поля). Для электрического заряда семейство генераторов образует группу симметрий $U(1)$. Символ 1 означает, что фотон взаимодействует только сам с собой, т.е. он не переводит частицы одного типа в частицы другого типа. Таким образом, $U(1)$ — это группа преобразований, которая не меняет природу частицы. В матрице один на один находится квант электромагнитного поля – фотон, который преобразует электрон в другой электрон.

В настоящее время КТП рассматривается как эффективная низкоэнергетическая теория, справедливая до некоторого энергетического масштаба λ . «С увеличением энергии появятся другие частицы и окажется, что электродинамика станет просто частью большей электрослабой теории. Для увеличения энергии необходимо как минимум участие других частиц, так что электродинамика является лишь частью более обширной теории электрослабых взаимодействий»².

В заключение хотелось бы сказать несколько слов об успешности КТП: «квантовые теории полей работают столь успешно при энергиях, доступных современным ускорителям, совсем не потому, что окончательное описание природы возможно на языке квантовой теории поля, а потому, что любая теория, удовлетворяющая требованиям квантовой механики и специальной теории относительности, при достаточно малых энергиях выглядит как квантовая теория поля»³.

¹ Салам А. Фундаментальная природа материи (Результаты и методы) // Успехи физических наук. 1969. №4. С. 580.

² Зи Э. Квантовая теория поля в двух словах. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. С. 170.

³ Вайнберг С. Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. – М.: Едиториал УРСС. 2004. С. 168.

Идея симметрии и нарушения симметрии

Одна из самых плодотворных идей в физике элементарных частиц — идея симметрии¹. Под симметрией можно понимать «свойство объекта или совокупности объектов сохранять свою форму или взаимное соответствие при каких-либо преобразованиях»². (Например, Глэшоу писал, что «Сегодня мы имеем, что называется, стандартную теорию в физике элементарных частиц, в которой все взаимодействия — сильные, слабые и электромагнитные — возникают из принципа локальной симметрии»³).

В связи с концепцией симметрии вводится концепция калибровочных преобразований. «Калибровочными преобразованиями называют те преобразования функций, которые не отражаются на наблюдаемых характеристиках движения, т.е. не изменяют ее физического состояния»⁴.

Современные физические теории строятся с помощью идеи нарушения симметрии. «Наличие какой бы то ни было симметрии означает наличие тождественных, т.е. неотличимых состояний, тогда как наблюдение и измерение предполагает различие состояний, т.е. нарушение симметрии. Это нарушение симметрии. Это нарушение всегда связано с воздействием на систему, т.е. с появлением некоторого поля сил. Иначе говоря, для того чтобы сделать симметрию наблюдаемой, нужно ее нарушить»⁵.

Считается, что сразу после большого взрыва все взаимодействия были объединены в «суперсилу», которой соответствовала суперсимметрия. «На фундаментальном уровне вообще нет никаких приближенных или частичных симметрий, а есть лишь точные симметрии, управляющие всеми взаимодействиями»⁶. С течением времени и падением температуры суперсила разделялась на различные взаимодействия. Первой отделилось гравитационное взаимодействие, затем сильное,

¹ Gross D. The Role of Symmetry in Fundamental Physics // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1996. № 25.; Zee A. Symmetry and the Search for Beauty in Modern Physics // New Literary History. 1992. № 4.

² Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988. С. 193.

³ Глэшоу А. На пути к объединенной теории – нити в гобелене // Успехи физических наук. 1980. № 2. С. 219.; см. Вигнер Ю. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971.

⁴ Коноплева Н. П., Попов В. Н. Калибровочные поля. М.: Атомиздат, 1980. С. 12.

⁵ Там же.

⁶ Вайнберг С. Идеи основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий // Успехи физических наук. 1980. № 2. С. 210.

затем слабое и электромагнитное. Выделение каждого из взаимодействий на физическом уровне означало нарушение соответствующей симметрии. Так, можно сказать, что с отделением гравитационного взаимодействия были нарушена суперсимметрия и так далее. С выделением электромагнетизма была нарушена изотопическая симметрия, связанная с неразличением нуклонов, которые разделились на протон и нейтрон.

Идея симметрии является реализацией принципа унификации в квантово–полевой физике, поскольку математические модели теории групп являются сетками, структурирующими и объединяющими физические явления.

Сильное взаимодействие (квантовая хромодинамика)

В 1950-х было открыто множество элементарных частиц, большинство из которых имело крайне малое время жизни по сравнению с другими. Эти сильно взаимодействующие частицы были названы адронами.

В 1964 г. Гелл–Манн и Цвейг предположили, что адроны состоят из трех кварков, на основе чего возможна их классификация¹. При помощи трех типов кварков — верхнего, нижнего и странного — они смогли «построить» все известные тогда адроны. Поскольку кварки в свободном состоянии не могли обнаружить, постольку они считались удобной математической конструкцией. Ненаблюдение свободных кварков было названо конфайнментом.

Теория сильного взаимодействия построена по образцу КЭД и называется квантовой хромодинамикой (КХД). Как в КЭД, где заряженные частицы взаимодействуют между собой при помощи фотона, так и в КХД кварки взаимодействуют между собой при помощи глюонов. Дополнительные сложности возникают ввиду того, что у глюонов имеется не один цветовой заряд, а множество цветовых зарядов, причем кварки с определенным зарядом взаимодействуют между собой, только если разность зарядов будет полуцелым или целым числом (заряд квантуется).

Как и КЭД, взаимодействие в которой описывается при помощи группы симметрии $U(1)$, сильное взаимодействие описывается группой симметрии $SU(3)$.

¹ Зельдович Я. Б. Классификация элементарных частиц и кварки «в изложении для пешеходов» // Успехи физических наук. 1965. № 2. С. 302.

Символ 3 указывает на то, что существует три типа зарядов. Символ S (специальная симметрия) говорит о том, что сумма цветовых зарядов для глюона равна нулю. Как из $U(1)$ для КЭД, так и из $SU(3)$ для КХД следует, что цветовой заряд сохраняется, а глюоны являются безмассовыми частицами. Группа состоит из восьми эрмитовых генераторов, которые ассоциируются с наблюдаемыми – цветовыми зарядами, а поскольку заряды сохраняются, постольку с ними можно ассоциировать частицы – глюоны.

Суммарное представление группы симметрий $SU(3)$ – триплет кварков + триплет антикварков + октет глюонов. При взаимодействии частиц баланс зарядов сохраняется (например, глюон, взаимодействует с зеленым кварком, в результате чего образуется красный кварк).

Следует отметить связь сильного и слабого зарядов. А. Салам так писал об этом: «В адронной физике существует эмпирическое соотношение, выражающее электрический заряд Q в виде линейной комбинации гиперзаряда и одного из изотопических зарядов: $Q = I_3 + (Y/2)$. Это первый пример зарядов, которыми характеризуются сразу два типа взаимодействий — сильные и ЭМ»¹.

Слабое взаимодействие

Э. Ферми предложил теорию слабого взаимодействия как контактного взаимодействия между четырьмя фермионами, которая смогла описать низкоэнергетические процессы, однако, оказалась неперенормируемой.

Это взаимодействие связано с нарушением симметрии относительно пространственной инверсии – закона сохранения четности. В 1957 г. Фейнман и Гелл–Манн предложили теорию слабого взаимодействия, включающую нарушение симметрии зеркального отражения. Соответственно, частицы стали делиться на левополяризованные и правополяризованные в соответствии со спиральностью, которая определяется ориентацией спина. Только левополяризованные частицы и правополяризованные античастицы несут слабый заряд. По этому поводу С. Вайнберг сказал: «вся картина приближенных симметрии сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий, которая так сильно озадачивала нас в 50–е и 60–е годы, теперь в

¹ Салам А. Фундаментальная природа материи (Результаты и методы) // Успехи физических наук. 1969. № 4. С. 577.

значительной мере оказывается объясненной как простое следствие калибровочной инвариантности сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий плюс условия перенормируемости»¹.

Слабое взаимодействие описывается группой симметрии $SU(2)$, с которой связываются три частицы. «Этими тремя промежуточными частицами являются W^+ , имеющий как слабый, так и электрический заряд $+1$; W^- , имеющий слабый и электрический заряды -1 , и W^0 , который нейтрален как по отношению к слабым, так и по отношению к электромагнитным силам»². Слабый заряд связан с электрическим зарядом, поскольку электрический заряд частицы является суммой слабого заряда и заряда $U(1)$, который равен среднему электрическому заряду частицы. Это соотношение, как и предыдущее для сильных взаимодействий, связывает слабое и электромагнитное взаимодействие.

Отметим, что «имеется иерархическая последовательность сильных зарядов и связанных с ними симметрий — унитарные заряды $SU(3)$, изотопические заряды $SU(2)$, гиперзаряд и (стоящий несколько особняком) барионный заряд. Если бы в природе существовали только сильные взаимодействия, все эти заряды сохранялись бы точно. Отсутствие точного сохранения объясняется наличием соответственно умеренно-сильных, ЭМ и слабых взаимодействий»³.

2.4.2 Электрослабое взаимодействие

В 1960-х Вайнберг, Глэшоу и Салам объединили электромагнитные и слабые взаимодействия, на основе чего было предсказано существование W^- и Z -бозонов, отвечающих за слабое взаимодействие. Эти частицы открыты в 1983 году.

Электромагнитные взаимодействия имеют бесконечный радиус действия, в то время как слабые взаимодействия имеют радиус действия, не превышающий размеры атомного ядра. Отсюда возникает проблема нарушения симметрии масс фотона (не

¹ Вайнберг С. Идеиные основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий // Успехи физических наук. 1980. № 2. С. 210.

² Джорджи Х. Единая теория элементарных частиц и сил. С. 302–303.

³ Салам А. Фундаментальная природа материи (Результаты и методы). С. 579.

имеет массы) и бозонов (имеют массу). Эту проблему решили путем введения понятия спонтанного нарушения симметрии. Джорджи писал: «Структура вакуума спонтанно нарушает симметрию $SU(2) \times U(1)$, вследствие чего три переносчика слабого взаимодействия получают массу, но фотон остается по-прежнему безмассовым»¹.

Электрослабое объединение описывается группой симметрии, которая является прямым произведением группы симметрии электромагнитного и слабого взаимодействий, а значит включает эти группы как подгруппы (требование преемственности). Электрослабое объединение – частичное, поскольку «включает две различные силы, каждая со своей группой симметрии и со своей константой связи»².

В конце 60-х были предложены две альтернативные теории электрослабого объединения, которые отличались наличием в одной теории и отсутствием в другой нейтрального бозона Z^0 . Эксперимент выявил существование нейтральных токов, связанных с нейтральным бозоном, а также были открыты все три бозона, что подтвердило правильность теории Глэшоу–Вайнберга–Салама. «До названных экспериментов логический анализ не мог произвести выбор между двумя вариантами теории электрослабого взаимодействия»³.

2.5 Гипотетические теории объединения. Теории великого объединения⁴

Под великим объединением в физике понимают создание теории, которая единообразно опишет (т.е. объединит константы взаимодействий и представит единую группу симметрии) три из четырех известных типов взаимодействий: электромагнитное, сильное и слабое⁵. В настоящее время построена и эмпирически подтверждена единая

¹ Джорджи Х. Единая теория элементарных частиц и сил. С. 305.

² Там же. С. 306.

³ Розенталь И. Л. Геометрия, динамика, Вселенная. М.: Наука, 1987.

⁴ Содержание параграфа опубликовано. Безлепкина Е.А., Сторожук А.Ю. Онтологический анализ метафизических оснований теории великого объединения. Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2013. № 4. С. 5-10.

⁵ Ellis J. From the Standard Model to Grand Unification Philosophical // Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. 1982. № 1482 (304).; Ellis J. Unification and Supersymmetry Philosophical // Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. 1983. № 1512 (310).

теория двух взаимодействий: электромагнитного и слабого. Четвертое – гравитационное взаимодействие, описываемое общей теорией относительности, стоит особняком. Гравитация отлична от других полей «потому что гравитация формирует арену, на которой сама действует, в противоположность другим полям, которые действуют в заданном пространстве–времени»¹. Первые три теории – квантовые, в них предполагается наличие минимальной порции энергии – кванта, теория относительности является геометрической теорией и связывает гравитационное взаимодействие с характеристиками пространства. Проблема объединения формулируется как невозможность квантования гравитации.

Это обусловлено пониманием действия гравитации как искривления пространства–времени с одной стороны, и квантово–механическим принципом неопределенности с другой. Согласно этому принципу причинно–следственная связь, детерминистическая на макроуровне, оказывается колеблющейся при переходе на микроуровень.² Однако ОТО является теорией детерминистической. Это значит, что локально в каждой области пространства можно найти решение уравнений Эйнштейна и определить метрику. Поскольку агентом, переносящим гравитационное взаимодействие, является само пространство, то квантованию должно подлежать именно пространство. Но при переходе в область бесконечно малых масштабов мы сталкиваемся с действием принципа неопределенности, который указывает на невозможность определить метрику в силу квантовых флуктуаций поля.

На наш взгляд, проблема объединения теорий основывается, в частности, на несогласованном понимании онтологических оснований различных физических теорий³. В основе философско–онтологических предпосылок лежит принцип материального единства мира, постулирующий целостность и единство природы. В ходе научного исследования ученые концентрируются на отдельных особенностях изучаемых явлений, которые в дальнейшем требуется уложить в целостную картину. «Когда–то все явления природы грубо делили на классы... (редукционизм). Цель–то, однако, в том, чтобы

¹ Хокинг С., Пенроуз Р. Природа пространства и времени. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. С. 12.

² Общую информацию о причинности в физике см. (Бом Д. Причинность и случайность в современной физике. М.: Изд. иностр. лит., 1959), о принципе причинности (Хьюбнер К. Критика научного разума. М.: ИФРАН, 1994).

³ David A., Galchen R. Was Einstein Wrong?: A Quantum Threat to Special Relativity // Scientific American. 2009. № 3.

понять всю природу как разные стороны одной совокупности явлений. В этом задача фундаментальной теоретической физики нынешнего дня: открыть законы, стоящие за опытом, объединить эти классы (синтез). Исторически всегда рано или поздно удавалось их слить, но проходило время, возникали новые открытия, и опять вставала задача их включения в общую схему»¹.

Исторически онтология различных теорий формировалась в различные эпохи исходя из разных предпосылок, поэтому ряд основных физических понятий имеет несовместимые описания. Например, категория пространства первоначально понималась в первой физической теории – механике Ньютона как 3–мерное, плоское, пустоеместилище объектов. Это понимание унаследовала квантовая механика, которая рассматривает пространство независимым от материи. В теории относительности пространство и время равноправны и объединены в 4–мерное гладкое многообразие, кривизна которого зависит от распределения масс и энергий.

Противоречие возникает при попытках объединить два подхода, в одном из которых пространство и материя тесно взаимосвязаны, а в другом рассматриваются изолированно. При переходе к квантовым масштабам согласно принципу неопределенности возникает неопределенность значений энергии–импульса, что согласно теории относительности сопровождается искривлением пространства. На микроуровне структура пространства–времени оказывается подвержена флуктуациям, что не согласуется с гладкостью геометрии пространства на макромасштабах. «Утверждение о том, что пространство–время образует континуум, подразумевает сохранение его непрерывной природы независимо от того, с каким «увеличением» мы его рассматриваем. Но ведь отнюдь не очевидно, что непрерывное описание соответствует действительности в достаточно малых масштабах, где существенную роль играют квантовые эффекты. Возьмем, например, масштабы порядка 10^{-13} см (примерный радиус элементарной частицы). При любой попытке определить положение частицы с такой степенью точности становится вероятным (ввиду принципа неопределенности) возникновение чрезвычайно большого импульса. Тогда должны рождаться новые частицы, и некоторые из них могут оказаться неотличимыми от первоначальной, так что понятие «положения» первоначальной частицы становится

¹ Фейнман Р. Ф. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968. С. 39.

неопределенным»¹. Применение новых методов ведет к тому, что пространство перестает рассматриваться как отдельная сущность и становится частью более общего понятия.

В теориях квантовой гравитации понятие материи остается недостаточно проработанным. Многие ученые показывают несовместимость философских оснований релятивистских и квантовых теорий. Противоречащие сегодня взгляды формировались исторически, теории, в рамках которых складывалось то или иное концептуальное описание, развивались на различных основаниях. На наш взгляд, построение единой теории без унификации философских оснований теорий невозможно. Решение проблемы совместимости концептуальных оснований мог бы решить либо некий общий язык (концептуальная структура), в котором интерпретации понятий могли бы быть даны так, чтобы быть совместными с языком любой физической теории, либо некий объединенный исходный объект, который объединил бы основные физические категории пространства-времени, массы и поля.

Идея создания универсального языка была высказана еще в конце XIX в. Существенной чертой языка является его формальность, то есть, отказ от рассмотрения содержательных, в том числе метафизических оснований. Математический язык стал применяться во многих науках, в том числе и в физике, где был унаследован и сам формальный математический подход. Отказ от метафизики, объяснения и содержательных интерпретаций был особенно характерен для создателей квантовой механики, находившихся под влиянием установок позитивизма. В 1960-х было осознано, что метафизика в теории всегда присутствует в виде самых общих предположений о законах природы и структуре мира. Но поскольку ученые в большинстве своем провозгласили отказ от рассмотрения метафизики в науке, базовые научные понятия, находящиеся на границе науки и философии оказались непроработанными. В настоящее время позитивистская установка на исключительное внимание к формализму становится препятствием для развития науки в области объединения теорий. Сами понятия пространства, времени, материи и причинности нуждаются в концептуальной доработке.

С точки зрения физики «единая теория скорее представляется суперструктурой, в которой могли бы быть заложены $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Эта суперструктура реализовала

¹ Пенроуз Р. Структура пространства-времени. М.: Мир, 1972. С. 11–12.

бы еще большую симметрию, в которой кварки и лептоны были бы тесно связаны»¹. Глэшоу и Джорджи в 1973 разработали теорию великого объединения на основе группы симметрии $SU(5)$ – наименьшей простой группе, включающей симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$.

Симметрии частных взаимодействий входят в теорию $SU(5)$ как подгруппы. Теория $SU(5)$, как и практически все теории объединения до нее, постулирует существование новых промежуточных частиц, которые преобразуют кварки в лептоны и наоборот.

ТВО $SU(5)$: 1) объединяет кварки с лептонами; 2) объединяет константы взаимодействия для сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий (однако на экспериментально недоступных в настоящее время энергиях). Одно из интересных следствий этой версии ТВО – распад протона, который до настоящего времени не удалось обнаружить экспериментально.

И. Л. Розенталь² выделил три желаемых результата ТВО:

- а) объединенное взаимодействие характеризуется единой константой;
- б) компоненты объединенного поля преобразуются в соответствии с единой группой;
- в) в рамках единой теории возможно устранить бесконечности из окончательных результатов.

Как видно, теория $SU(5)$ и более высокие теории групп получают все эти результаты. Таким образом, дело остается за экспериментальным подтверждением той или иной модели.

Константы взаимодействий и их объединение

Безразмерные константы взаимодействий – это выражения, характеризующие величину энергии того или иного вида взаимодействия. Например, константа электромагнитного взаимодействия в КТП характеризует степень связи электрона с электромагнитным полем и объединяет постоянную Планка и постоянную скорости света.

Такие константы как постоянная скорости света, постоянная Планка, постоянная тонкой структуры мы считаем выделенными в отдельный класс по причине того, что своим существованием они говорят о произошедших процессах объединения

¹ Джорджи Х. Единая теория элементарных частиц и сил. С. 307.

² Розенталь И. Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных // Успехи физических наук. 1980. № 6. С. 250.

физических гипотез или теорий. Дальнейшее объединение констант означает объединение соответствующих теорий физики (например, формула, в которой объединены постоянная скорости света и постоянная Планка говорит о том, что эта формула относится к области действия квантовой теории поля; объединение постоянной скорости света и гравитационной постоянной означает создание геометрической теории поля и так далее).

Эти величины являются «бегущими константами», т.е. их значение зависит от массы (или энергии) входящей в формулу частицы. «Тенденции изменений всех констант с ростом энергии взаимодействия таковы, что при некоторых значениях E константы... взаимодействий могут оказаться равными друг другу»¹. Это означает возможность единого описания всех взаимодействий на уровне «суперсилы». Действительно, на больших расстояниях константа связи $SU(3)$ наибольшая, но убывает быстрее других; константа связи слабого взаимодействия $SU(2)$ меньше и тоже убывает; константа $U(1)$ меньше, но растет всех, но растет с уменьшением расстояния. Поэтому возможно существование такого расстояния, при котором все будут иметь приблизительно одну и ту же величину. Как подчеркивает Джорджи: «На расстояниях около 10^{-33} см гравитация может стать такой же сильной, как и другие виды взаимодействия, и тогда любая теория, описывающая события на таких расстояниях, должна включать и гравитацию»². Однако это гипотетическое предположение. Можно предсказать, что кривые констант взаимодействий сойдутся при расстоянии около 10^{29} см, что эквивалентно энергии 10^{13} ГэВ. При таких расстояниях и энергиях взаимодействия должны иметь одинаковую силу, ввиду чего переходы между элементарными частицами должны иметь одинаковую вероятность. С увеличением расстояния симметрия нарушается, и взаимодействия начинают различаться.

Таким образом, в квантовых теориях поля объединены и обобщены следующие элементы:

Философское объединение: (1) объединение понятий массы (частиц) и поля в понятие поля амплитуды вероятности; (2) объединение категорий континуального (волна) и дискретного (частица); (3) принцип дополнительности объединяет

¹ Спиридонов О. П. Фундаментальные физические постоянные. М.: Высш. шк., 1991. С. 213.

² Джорджи Х. Единая теория элементарных частиц и сил. С. 313.

альтернативные описания физического объекта; (4) новая теория есть обобщение старой и между ними существуют отношения предельного перехода (принцип соответствия).

Математическое объединение: (1) обнаружение эквивалентности теорий (представлений) Гейзенберга и Шредингера; (2) понятие оператора обобщает понятие функции.

Физическое объединение: (1) объединение квантовой механики и специальной теории относительности (релятивизация квантовой механики); (2) объединение волновой и корпускулярной теорий света в квантовой механике Дирака; (3) объединение оптического и механического вариационных принципов позволило получить представления о корпускулярно–волновом дуализме; синтез принципов дает единое основание для классической корпускулярной механики и геометрической оптики; (4) уравнение Шредингера – синтез классического корпускулярного (классическая механика) и волнового (волновая оптика) описаний неклассического объекта; (5) постоянная Планка – результат редукции теории теплового излучения к теории электромагнитного излучения; (6) объединение нерелятивистской формулы Эйнштейна для энергии и квантовой формулы Планка для энергии ($E=m_0c^2$ и $E=h\nu$) позволяет получить представление о волнах материи.

Зафиксируем список объединений и обобщений квантовомеханических теорий поля в Таблице 15.

Таблица 15 – Список объединений и обобщений квантовомеханических теорий поля

реализация принципа	пример
сохранение – наличие общего закона сохранения	Законы сохранения лежат в основе теории симметрии, на которой основаны квантовые теории поля. Каждому заряду можно сопоставить оператор тока; если ток является сохраняющейся величиной, то заряд является интегралом движения.
математизация – объединение через концептуальные структуры	Идея симметрии – реализация принципа унификации в квантово–полево́й физике, поскольку математические модели теории групп являются «сетками», объединяющими физические явления. а. Группа $SU(2)$ единообразно описывает спин, изоспин, слабые взаимодействия. б. Концепция кварков, основанная на математической модели группы симметрий $SU(3)$, систематизирует и объединяет адроны. Объединение концепции зарядов – группа $SU(3)$ как более общая модель объединила концепции изотопических зарядов (группа $SU(2)$) и гиперзарядов (группа $U(1)$) в группу унитарных зарядов.
простота – минимум оснований	Группу частиц большего количества стремятся описать группой частиц меньшего количества (представление, что адроны состоят из кварков).

соответствие обобщение преемственность	– и	Взаимодействие полей описывается уравнениями Лагранжа. Такое описание дает больше шансов на то, что теория будет обладать свойствами самосогласованности и инвариантности. Если вводится какое-то новое поле, то его вклад получают, прибавляя его лагранжиан к прежнему.
прочее (синтетическое объединение)		1) Синтетическое объединение электромагнитных и слабых взаимодействий на основе введения новых частиц–переносчиков взаимодействий – промежуточных бозонов (электрослабая теория) не приводит к соединению бегущих констант взаимодействий. Объединение происходит на основе прямого произведения групп симметрии $U(1) \times SU(2)$. 2) Синтетическое объединение электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий на основе прямого произведения групп симметрий $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$ этих взаимодействий (стандартная модель). Константы связи не объединены, гравитационное взаимодействие не включено в модель. 3) Объединение предшествующих теорий (как классических, так и неклассических) создает квантовые теории поля: «Теория относительности (специальная – Е. Б.) и квантовая механика естественным образом ведут к математическому формализму квантовой теории поля, в котором взаимодействия элементарных частиц объясняются обменами самими элементарными частицами»¹.
прочее		Объединение таких понятий категории «материя», как масса (частица) и поле.

Гипотетические объединения:

1. Объединение кварков и лептонов на основе теории великого объединения – группы симметрии $SU(5)$ – требование математизации и простоты;
2. Объединение констант взаимодействий, т.к. они оказываются «бегущими» параметрами при изменениях энергии – требование преемственности;
3. Объединение взаимодействий на основе постулирования новых частиц–переносчиков взаимодействий, а также на основе существования единой группы симметрии – требование простоты;
4. Суперсимметрия – объединение бозонов (частиц–переносчиков взаимодействий) и фермионов (частиц материи) на основе математического обобщения алгебры Ли, которая предсказывает множество новых частиц–суперпартнеров – требование математизации.

¹ Вайнберг С. Единые теории взаимодействия элементарных частиц // Успехи физических наук. 1976. № 3. С. 508.

2.6 Обобщение исторического обзора

Подытожим исторический обзор, указав превалирующую функцию принципа унификации в формировании вышеизложенных физических теорий.

Поскольку *классическая механика* характеризуется синтезом физики (физических законов) и геометрии (события происходят в евклидовом пространстве), постольку здесь реализуется синтетическая функция принципа унификации.

Поскольку развитие *аналитической механики* связано с обобщением классической механики за счет введения таких понятий как обобщенная координата, конфигурационное пространство, действие, постольку здесь реализуется функция обобщения принципа унификации.

Поскольку в *теории электромагнетизма* происходит отождествление электрических, магнитных и световых явлений, постольку здесь реализуется редукционистская функция принципа унификации.

В *специальной и общей теории относительности* можно найти примеры проявления всех функций принципа унификации. Редукционистская функция (принцип эквивалентности отождествил гравитационную и инертную массы); синтетическая функция (объединение категорий пространства–времени и материи); функция обобщения (обобщение принципа относительности Галилея).

Поскольку *квантовая механика* основана на объединении оптического и механического вариационного принципов, которое позволило получить представление о корпускулярно–волновом дуализме, постольку здесь в большей степени реализуется редукционистская функция принципа унификации.

Квантово-механические теории поля представлены большим количеством примеров реализации синтетической функции принципа унификации. Например, синтетическое объединение электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий на основе прямого произведения групп симметрий $U(1)$ этих взаимодействий приводит к стандартной модели элементарных частиц.

Анализ гипотетических теорий объединения (среди которых теория струн и теория петлевой квантовой гравитации), скорее всего, предоставит нам ответ на вопрос, какая теория ближе подошла к понятию единой теории и какая теория смогла объединить

большее количество взаимодействий (на уровне физики) и фундаментальных идей (на уровне философии).

Ниже представлена таблица, разделенная на две части, которая обобщает проведенный в главе исторический обзор реализации принципа объединения в физических теориях.

методологическое требование	Теории		
	Классическая механика	Аналитическая механика	Классическая электродинамика
сохранение			
простота	принцип сохранения инерции	вариационные принципы (сохранение энергии)	принцип сохранения заряда, непрерывности
математизация	понятие силы, материальные точки	понятие энергии, действия, единый принцип	понятие силы, силовые линии
преемственность	разработка интегрального и дифференциального исчисления	обобщенная координата, конфигурационное пространство, интегро-дифференциальное исчисление	аппарат векторного анализа
объяснение	механика Галилея	классическая механика	механические аналогии для категории поля
синтетическое объединение	механицизм	единый математический принцип	полевое представление действительности
редукционистское объединение	-	системы, описываемые функцией энергии	электрические, магнитные и оптические явления

методологи- ческое требование	Теории			
	СТО	ОТО	КМ	КТП
сохранение	принцип сохранения энергии-массы, принцип относительности	принцип сохранения энергии, пр. относительности	принцип сохранения энергии	принцип сохранения энергии, пр. симметрии
простота	единое пространство- время, понятие действия	искривленное пространство- время, понятие действия	понятие действия, «корпускулярно- волновая частица»	квантование взаимодей- ствий
математи- зация	4-вектор, тензор, тензорное исчисление	тензорное исчисление, лагранжианы (принцип наименьшего действия)	функциональный анализ, лагранжианы (принцип наименьшего действия)	лагранжианы (принцип наименьшего действия), теория групп
преемствен- ность	классической механике	СТО	СТО	СТО, КМ
объяснение	-	полево представление действитель- ности	механизм	принцип симметрии и ее нарушения
синтетичес- кое объединение		категории вещества и поля, пространства- времени и материи	«волны» материи	Взаимодей- ствия (сильное, слабое, электромаг.)
редукцио- нистское объединение	электричество и магнетизм в тензоре напряженности	геометрия и физика	корпускулярные и волновые представления	категории частиц и полей

Обобщенная таблица, отражающая функционирование принципа унификации в физических теориях, показывает, что, так или иначе, все методологические требования принципа в теориях выполняются. На этом основании мы можем сформулировать операционалистские требования к унификации физических теорий:

- а) наличие обобщенной математической структуры;
- б) наличие фундаментального объекта, описывающего такие физические категории как пространство-время, частица, поле;

- в) в предельных случаях теория должна приводить к квантовой теории поля и общей теории относительности;
- г) наличие общего закона сохранения;
- д) схождение к одному числу фундаментальных параметров взаимодействия.

.

Глава 3 Реализация принципа унификации в научном познании

В предыдущей главе была показана реализация принципа унификации на материале фундаментальных физических теорий. Настоящая глава нацелена на то, чтобы показать реализацию принципа унификации на философском уровне физического познания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) систематизировать распространенные модели эволюции физического познания; уточнить подходы к развитию физического познания;

2) уточнить эволюцию основных категорий физики («пространство–время» и «взаимодействие»);

3) проанализировать гипотетические теории объединения (такие как теория струн, теория петлевой квантовой гравитации, исключительно простая теория всего), показать релевантность разработанной методологии и установить наиболее успешную унифицированную теорию;

4) классифицировать физические картины мира (приводится реконструкция или уточнение моделей, связанных с теориями–кандидатами на единую теорию), поскольку они являются реализацией принципа унификации на философском уровне физического познания.

В заключение главы рассмотрена возможность создания объединенной физической картины мира. Принципиальная возможность создания подобной модели свидетельствует о действительной возможности объединения существующих физических теорий.

3.1 Анализ моделей эволюции физики¹

Цель параграфа – уточнить модели эволюции физического познания (показать, что физическое познание стремится к унификации физических теорий) и классифицировать их по предложенным в главе 1 (параграф 1) определениям. Мы предпринимаем анализ ряда моделей, который позволит уточнить подходы к развитию физики, а также предположить в русле каких физических программ происходит развитие физики на современном этапе.

Мы выделяем два подхода к построению моделей эволюции физики, а именно: подход с физическим основанием (отметим константную и программную модели) и подход с философским основанием (отметим категориальную и принципиальную модели). Некоторые из моделей представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Модели эволюции физических теорий

	частные	обобщенные
физические основания	1) константная	5) константно-программная
	2) программная	
философские основания	3) категориальная	6) категориально-принципиальная
	4) принципиальная	

Рассмотрим представленные модели и их базовые понятия.

Константная модель Зельманова² («куб физических теорий»). Фундаментальные постоянные можно определить как «метрологически независимые постоянные, являющиеся естественными единицами физических величин, число которых необходимо и достаточно для эталонирования единиц всех физических величин и однозначной фиксации численных значений всех остальных физических констант»³. С этой точки зрения такие постоянные как скорость света, гравитационная постоянная, постоянная Планка, заряд электрона и постоянная Больцмана «являются

¹ Содержание параграфа опубликовано: Безлепкин Е. А. Философские основания эволюции физического познания // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 7, Филос. 2014. № 6 (26). С. 24–35.

² Рассмотрена в статье: Горелик Г. Е. $cxGxh=?$ // Знание–сила. 1988. № 2. С. 21–27.

³ Томилин К. А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. М.: Физматлит, 2006. С. 18.

метрологически независимыми и их выбор достаточен для эталонирования единиц всех физических величин»¹.

Перейдем к модели Зельманова, изображенной на Рисунке 7. Исходное условие модели – преемственность между теориями, т.е. возможность предельного перехода по указанным постоянным между теориями, лежащими на ребрах куба (ребра снабжены стрелками, которые указывают на более общую теорию). Зельманов пишет, что предельный переход «влечет за собой не просто количественное уточнение теории и ее уравнений, но также – и прежде всего – качественное их усложнение, связанное с введением новых представлений и понятий»².

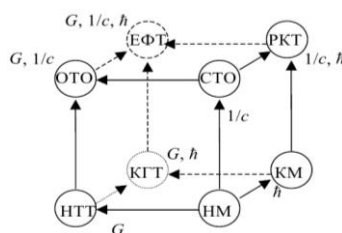


Рисунок 7 – Куб физических теорий Зельманова

Опишем представленную модель.

- 1) НМ – ньютонова механика, не содержит постоянных.
- 2) НТТ – ньютонова теория тяготения (закон тяготения + НМ), содержит постоянную «G».

3) СТО – специальная теория относительности, содержит постоянную «с» (скорость движения света в вакууме). Предельный переход $c \rightarrow \infty$ ведет к переходу от преобразований Лоренца (основа СТО) к преобразованиям Галилея (основа механики Ньютона), а также качественно от концепции близкодействия к концепции дальнодействия. СТО – обобщение НТТ на релятивистскую область.

4) ОТО – общая теория относительности, содержит две постоянные – «с» и «G». При $G \rightarrow 0$ получим СТО, т.е. перейдем от пространства Римана к пространству Минковского; при $c \rightarrow \infty$ получим НТТ, т.е. перейдем к пространству Евклида и к концепции дальнодействия; при $G \rightarrow 0$ получим классическую механику. ОТО «можно рассматривать как обобщение специальной теории относительности, необходимое в

¹ Там же.

² Зельманов А. Л. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной // Бесконечность и Вселенная. М.; Мысль, 1969. С. 295.

области гравитационных явлений, и вместе с тем как обобщение ньютоновой гравитационной теории, необходимое в области больших скоростей и, следовательно, при сильных полях тяготения»¹.

5) КМ – квантовая механика, содержит постоянную Планка « $\hbar$ ». При $\hbar \rightarrow 0$ получим НМ и перейдем от концепции дискретности к концепции непрерывности.

6) РКТ – релятивистская квантовая теория, содержит две постоянные – « c » и « $\hbar$ ». При $c \rightarrow 0$ получим КМ, при $\hbar \rightarrow 0$ получим СТО, при $c \rightarrow 0$ получим классическую механику. РКТ – «обобщение нерелятивистской квантовой механики на область быстрых движений и силовых полей и вместе с тем как обобщение механики и электродинамики специальной теории относительности на область квантовых явлений»².

7) КГТ – квантовая теория гравитации. По Зельманову эта теория может иметь два альтернативных варианта: либо является релятивистской (близкодействие); либо теорией дальнего действия (т.е. скорость распространения взаимодействия не играет роли). Если реализуется первый вариант – КГТ будет синтезом ОТО и РКТ; если реализуется второй вариант – КГТ будет более сложным образованием.

8) ОФТ – общая физическая теория. Будет содержать три мировые постоянные и «сформирует принципы, позволяющие составлять уравнения для любых допускаемых ею частных случаев»³.

Модель Зельманова не содержит, например, теорий слабого и сильного взаимодействий, которые имеют свои постоянные взаимодействия. Помимо этого она не отражает значимые физические идеи (например, идеи симметрии, вариационных и калибровочных принципов, геометризаци), на которые опираются современные попытки построения единой физической теории. Ввиду этого она может быть рассмотрена как первое приближение этого вида моделей.

Вместе с тем модель Зельманова позволяет выделить рассмотренные постоянные в особую группу, поскольку они указывают на произошедшие процессы обобщения и объединения физических теорий. Например, постоянная скорости света возникла при объединении электрической и магнитной сил: «Объединение двух сил приносит новый

¹ Там же. С. 266.

² Там же. С. 300.

³ Там же. С. 301.

масштаб в теорию – скорость света»¹. Объединение постоянных означает объединение соответствующих теорий физики (например, формула, в которой объединены «с» и «h» относится к области действия квантовой теории поля). Таким образом, константная модель Зельманова предсказывает существование объединенной теории, в которой будут содержаться фундаментальные постоянные ранних теорий.

Программная модель В. П. Визгина изображена на Рисунке 8. В. П. Визгин определяет понятие «физической программы» так: «они функционируют наподобие исследовательских программ И. Лакатоса, хотя конкуренция между ними регулируется не только процессами прогрессивных и регрессивных сдвигов, но и путем их сопоставления с системой фундаментальных принципов физического познания, являющейся более устойчивым образованием, чем сами эти программы»².

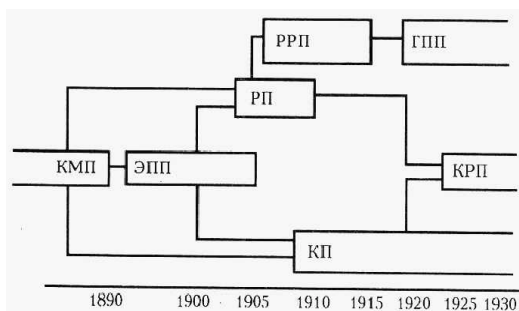


Рисунок 8 – Классификация физических программ Визгина

1) КМП – классико-механическая программа (ядро – классическая механика). Суть программы – описание окружающего мира в терминах движения и взаимодействия точек, представляющих материальные тела. Лозунг программы – сведение описания физических явлений к описанию взаимодействия материальных точек (редукция к механицизму).

2) ЭПП – электромагнитно-полевая программа (ядро – классическая электродинамика). Суть программы – описание окружающего мира в терминах теории электромагнитного поля (непрерывные полевые векторы). Лозунг программы – сведение описания явлений к описанию взаимодействия и эволюции электромагнитных полей (редукция).

¹ Хелзен Ф. Кварки и лептоны: Введение в физику элементарных частиц. Новокузнецк: Новокузнецк. физ-мат ин-т., 2000. С. 41.

² Визгин В. П. Математика в квантово-релятивистской революции // Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XX в. М.: Янус-К, 1997. С. 8.

3) РП – релятивистская программа (ядро – СТО). Суть программы – описание физических явлений с использованием геометрического и теоретико-группового подхода. Лозунг программы – перестройка классической физики в соответствии с новыми принципами (симметрия). Как писал Визгин: «Именно СТО и РП сформировали тот характерный для современной науки подход, согласно которому исходная симметрия теории, ее геометрия... определяют структуру и динамику этой теории»¹.

4) РРП – расширенная релятивистская программа (ядро – ОТО). Суть программы – геометрическая трактовка гравитационного взаимодействия (отождествление гравитационного взаимодействия с геометрической структурой пространства-времени). Цель и лозунг программы – «геометризация физики», возможность описания взаимодействий через описание искривленного пространства-времени (отождествление категории пространства-времени с категорией поля).

5) ГПП – геометрическая полевая программа (ядро – кандидаты на единую геометрическую теорию поля). Суть программы – «так расширить четырехмерную риманову геометрию, чтобы электромагнитное поле также можно было трактовать как чисто геометрический феномен»². Обнаружение сильных и слабых полей серьезно усложнило полевую программу требованием введения квантовых идей.

6) КП – квантовая программа (ядро – квантовая механика). Суть программы – описание микромира при помощи новых физических принципов (принцип квантования переменных, принцип неопределенностей, принцип соответствия и прочие) и нового математического формализма (вводится пространство Гильберта, классические переменные становятся операторами).

7) КРП – квантово-релятивистская программа (ядро – квантовые теории поля, образец – квантовая электродинамика). Суть программы – описание поведения элементарных частиц на языке принципов симметрии, сохранения и инвариантности.

Основной недостаток модели заключается в ее историчности (описание заканчивается в 1930 г.), поэтому нельзя сказать, стремится физическое познание к единству или нет. Модель Визгина сосредотачивается на значимых физических идеях, поскольку они входят вместе с физической теорией в ядро любой программы. Отметим,

¹ Там же. С. 13.

² Там же. С. 18.

что в настоящее время наметился синтез ГПП и КРП на основе идеи калибровочной симметрии и использования неклассических фундаментальных объектов.

Константно-программная модель К. А. Томилина интересна тем, что исправляет недостатки предыдущих моделей (понятие программы отражено опосредованно), поскольку она включает калибровочные теории взаимодействий, т.е. отражает современное состояние физических исследований. Модель изображена на Рисунке 9.

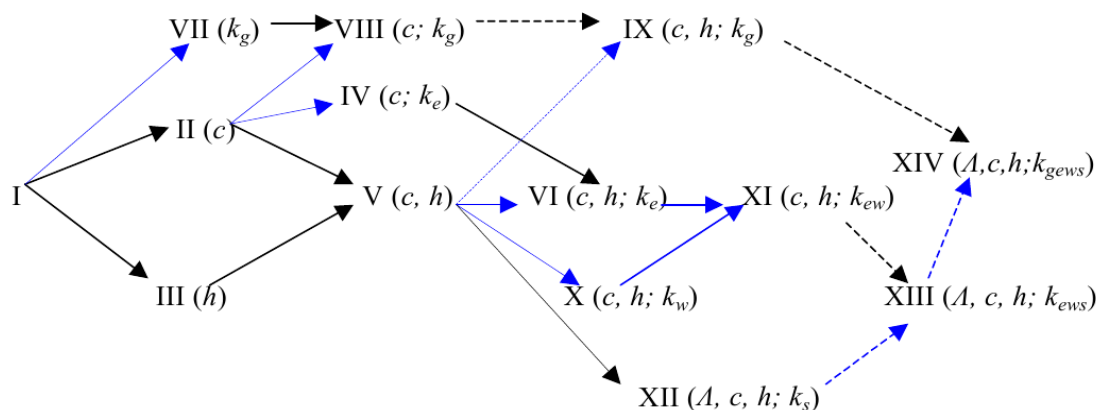


Рисунок 9 – Обобщенная модель физических теорий Томилина

Описание модели заимствуем у автора: «Представлены основные физические теории – классическая механика (I), релятивистская механика (II), квантовая механика (III), релятивистская квантовая теория (V), теории взаимодействия – ньютоновская теория тяготения (VII), максвелловская электродинамика (IV), релятивистская теория тяготения (например, ОТО) (VIII), теория слабого взаимодействия (X), квантовая хромодинамика (XII), квантовая электродинамика (VI), теория электрослабого взаимодействия (XI), а также пока гипотетические теории – релятивистская квантовая теория гравитации (IX), квантовая теория поля, объединяющая теорию электрослабого и сильного взаимодействий (XIII), единая теория (XIV). В скобках рядом с теориями указаны физические постоянные, играющие фундаментальную роль в этих теориях. Точка с запятой отделяет два класса фундаментальных постоянных друг от друга – фундаментальные постоянные, являющиеся абсолютными масштабами Природы, и константы связи, характеризующие «силы» взаимодействий»¹.

В ходе исследования становится понятной связь понятий «постоянная» и «программа»: в основе (ядре) физической программы находится базовая теория, идеи и

¹ Томилин К. А. Фундаментальные постоянные и модели эволюции физики // Исследования по истории физики и механики. М.: Наука, 2001. С. 203.

установки которой доминируют в период активности программы. С теорией связаны постоянные, которые указывают границу применимости теории и ограничивают экспансию программы. Каждой новой программе соответствует либо новая постоянная, либо совокупность постоянных.

В модели Томилина указаны логические (преемственные) и исторические связи между теориями. Она отражает эволюцию физического познания от аспектуального исследования мира и выделения частных теорий до последовательного объединения на основе введения новых концепций или принципов, описание которых возможно с помощью привлечения математического аппарата более высокого уровня. Помимо этого, модель отражает стремление физического познания к единой теории, которая будет охватывать ранее полученные физические константы, а также будет являться синтезом основных физических программ.

Категориальная модель. Категориями можно назвать «наиболее общие роды высказываний, далее не сводимые друг к другу и не обобщаемые»¹. Аристотель выделяет десять категорий: количество (пространственно-числовые характеристики), качество (неколичественные свойства), отношение (способ связи объектов), действие, место (положение объекта относительно других объектов), время (положение объекта относительно последовательности событий), состояние, обладание, претерпевание. Отдельно стоящая категория – сущность.

Выделим категории, которые занимают важное место в физике. Категория состояния стала центральным понятием физики со времен Эйнштейна; категории места и времени объединены в категорию пространства-времени; категории действия и претерпевания можно интерпретировать как категорию взаимодействия (сопряжение действия и противодействия). Не менее важны категории количества и качества.

Ю. С. Владимиров выделяет три основных категории физики: (П-В) пространства-времени, (Ч) частиц (фермионы) и (П) полей переносчиков взаимодействий (бозоны)².

Категории частиц и полей в современной физике тесно связаны; на гипотетическом уровне категории объединены гипотезой суперсимметрии.

¹ Чанышев А. Н. Курс лекций по древней философии. М.: Высшая школа, 1981. С. 293.

² Владимиров Ю. С. Метафизика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. С. 18.

Исходным у Владимирова можно считать понятие «миропонимание», которое он связывает с попытками попарного объединения двух из трех категорий в истории физики. Так возникают три типа миропониманий.

1) Теоретико-полевое – объединение категорий частиц и полей. Теоретико-полевое миропонимание опирается на обобщенную категорию поля амплитуды вероятности, «вобравшую в себя категории частиц и полей переносчиков взаимодействий, и на категорию пространства-времени»¹, причем первая категория «вкладывается» во вторую. Введение идей о калибровке взаимодействий и создание калибровочных теорий потребовало обобщения категории пространства-времени.

2) Геометрическое – объединение категорий пространства-времени и полей. Геометрическое миропонимание опирается на «обобщенную категорию искривленного пространства-времени, включающую в себя прежние категории пространства-времени (П-В) и полей переносчиков взаимодействий (П), и на отдельную категорию частиц (Ч), которая вкладывается в искривленное пространство-время»².

3) Реляционное – объединение категорий пространства-времени и частиц. «В реляционном миропонимании осуществляется переход к двум обобщенным категориям: к пространственно-временным отношениям, которые заменяют первичные категории пространства-времени и частиц, и к категории токовых отношений, которая также опирается на две названные первичные категории и заменяют категорию полей переносчиков взаимодействий»³.

Объединение категорий можно представить в графическом виде на Рисунке 10.

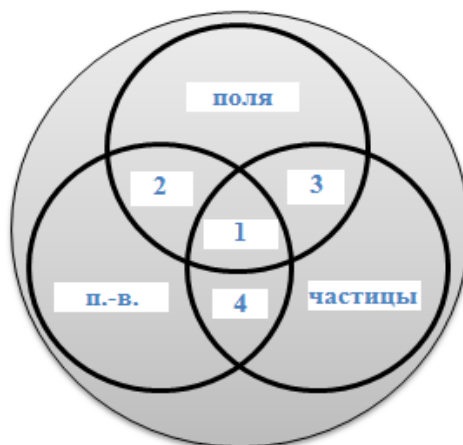


Рисунок 10 – Категориальная модель физических категорий

¹ Там же. С. 156.

² Там же. 232.

³ Там же. С. 351.

- 1 – механика Ньютона (основана на трех категориях);
- 2 – геометрическое миропонимание (ОТО, теории типа Калуцы-Клейна);
- 3 – физическое миропонимание (квантовая механика, КТП, КХД);
- 4 – реляционное миропонимание (теория прямого межчастичного взаимодействия);
- 5 – внешний круг, объединяющий метафизические основания (кандидаты – теория суперструн, теория петлевой квантовой гравитации, теория E8).

Модель Владимирова показывает, что единая физическая теория должна быть связана со всеми тремя категориями, которые предсказывают ее наиболее общие характеристики. Однако поскольку неизвестно, появятся или нет новые категории с развитием физического знания, постольку эта модель может считаться первым приближением среди такого рода моделей. Вместе с тем уже существующие категории и присущие им характеристики физических теорий, по нашему мнению, являются неизменной (однако могут быть синтезированы или редуцированы) составной частью физического познания.

Принципиальная модель представлена в Таблице 17. Понятие принципа исследовано в первой главе работы. Явное постулирование принципов, из которых с помощью логических приемов и вспомогательных гипотез строится теория, можно обнаружить, например, в работах И. Ньютона, А. Эйнштейна, П. Дирака. Подобные работы в области математики и геометрии называют аксиоматиками, а в области физики – гипотетико–дедуктивными моделями¹. В основе таких систем лежат положения метафизического характера, т.е. недоказуемые предположения. Модель показывает наиболее важные принципы, входящие как в физическую теорию, так и в определенный этап физического познания.

Общие принципы являются определяющими принципами для соответствующих теорий и для соответствующего этапа. При переходе между классической и неклассической физикой можно отметить следующие изменения:

- 1) принцип непрерывности переходит в принцип дискретности (квантования переменных);

¹ см. Меркулов И. П. Гипотетико–дедуктивная модель и развитие научного знания. М.: Наука, 1980.

2) принцип детерминизма ослабляется – переходит в принцип вероятностной причинности;

3) вариационные принципы становятся исходными принципами при строительстве теорий;

4) в неклассической физике становится важным принцип соответствия, поскольку необходимо, чтобы при переходе из области микромира и мегамира в макромир новая теория соответствовала классической теории;

5) отметим непреходящую значимость принципа сохранения (исходный принцип для систематизации явлений окружающего мира).

Таблица 17 – Принципиальная модель физических и философских принципов

этап	теория	принципы
Классический	общие	принцип непрерывности принцип сохранения принцип детерминизма
	Классическая механика + Аналитическая механика	принцип относительности принцип дальнего действия принцип равенства действия и противодействия вариационные принципы
	Электромагнетизм	принцип близкого действия принцип сохранения (электрического заряда) принцип Ферма и принцип Гюйгенса
	Термодинамика	принцип изменения энтропии
Релятивистский	общие	принцип симметрии (инвариантности) принцип сохранения вариационные принципы принцип соответствия принцип относительности (обобщение) принцип близкого действия
	ОТО	принцип эквивалентности идея геометризации взаимодействий
	общие	принцип вероятностной причинности (детерминизма) вариационные принципы принцип симметрии (инвариантности) принцип дискретности принцип неопределенности
Квантовый	Квантовая механика	принцип нелокальности принцип дополнительности
	КТП	идея квантования полей (взаимодействий)

Особое внимание уделим следующим принципам.

- 1) в неклассической физике становится определяющим принцип симметрии (начиная с СТО), который в современной физике формирует основной подход к созданию единых физических теорий;
- 2) принцип геометризации взаимодействий формирует подход к созданию единых геометрических теорий поля, начиная с ОТО.

Достоинство модели заключается в нахождении наиболее общих принципов, направляющих эволюцию физического познания. Вместе с тем с помощью этой модели можно выделить, во-первых, устойчивые принципы физического познания (например, принцип сохранения); во-вторых, принципы, которые подверглись обобщению (например, относительности, детерминизма); в-третьих, принципы, которые появились при развитии физического знания (например, принцип неопределенности, соответствия). Принципиальная модель ничего не говорит о путях развития физического знания, однако она позволяет, на основе анализа входящих в теорию принципов дать характеристику этапам физического знания, а также указать появление нового этапа физического познания.

Обобщенной моделью эволюции физических теорий будем считать категориально–принципиальную модель (представлена на Рисунке 11). Для того чтобы не загромождать схему, мы отразили на ней лишь наиболее важные идеи, соответствующие тому или иному этапу эволюции физических теорий.

На основе этой модели можно предложить следующие выводы.

Во-первых, предложенная модель позволяет выделить две главные идеи в эволюции физического познания, а именно: идею симметрии и идею геометризации взаимодействий, поскольку именно с их помощью происходили попытки построения объединенных теорий взаимодействий.

К идее геометризации физики можно прийти двумя путями: формальным и физическим. Формальная точка зрения может быть представлена через размерностный анализ понятия «масса». Рассматривая переменную «масса», можно заметить потенциальную возможность ее сведения к понятию притяжения и далее к переменным «пространство» (длина) и «время».

Физический путь геометризации начинается с принятия принципа эквивалентности Эйнштейна, который утверждает, что инертная и гравитационная масса эквивалентны;

т.о. система отсчета, содержащая гравитационное поле тождественна ускоряющейся системе отсчета. Оба явления интерпретируются геометрически как искривление пространственно-временного континуума.

Идея симметрии. «Эйнштейн ввел в обращение принцип: взаимодействия диктуются симметрией»¹. Среди принципов симметрии в современной физике особый статус имеет идея калибровочной симметрии, поскольку на ее основе возможно единообразно построить теории всех четырех взаимодействий. Суть подхода заключается в следующем. Считается, что сразу после большого взрыва все взаимодействия были объединены в «суперсилу», которой соответствовала суперсимметрия. С течением времени и падением температуры суперсила разделялась на различные взаимодействия. Первой отделилось гравитационное взаимодействие, затем сильное, слабое и электромагнитное. Выделение каждого из взаимодействий означало нарушение соответствующей симметрии. Так, при отделении гравитационного взаимодействия были нарушена суперсимметрия. С выделением электромагнетизма была нарушена изотопическая симметрия, связанная с неразличением нуклонов, которые разделились на протон и нейтрон. Таким образом, «На фундаментальном уровне вообще нет никаких приближенных или частичных симметрии, а есть лишь точные симметрии, управляющие всеми взаимодействиями»².

В современной физике обе идеи переплетены, поскольку «калибровочные поля глубоко связаны с геометрической концепцией связностей на расслоениях» .

Во-вторых, на основе предложенной модели мы можем констатировать два альтернативных варианта эволюции физики, происходящие из вышеописанных идей: назовем первый подход геометрическим , второй – калибровочным.

Оба подхода определяются путем введения в физическую теорию на фундаментальном уровне неклассических объектов. Суть заключается в следующем: каждое изменение определенных параметров или конфигурации неклассического объекта позволяет интерпретировать его как любую из известных элементарных частиц. Разница подходов – в типе этого объекта. В геометрическом подходе вводятся лентообразные пространственно–временные волокна (теория петлевой квантовой

¹ Янг Ч. Эйнштейн и физика второй половины XX века // Успехи физических наук. 1980. № 9. С. 170.

² Вайнберг С. Идеи основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий // Успехи физических наук. 1980. № 2. С. 210.

гравитации), возбужденные состояния квантованного пространства-времени. В калибровочном подходе, например в теории струн, «каждая частица идентифицируется как конкретная колебательная мода элементарной микроскопической струны... Так как существует всего один тип струн и все частицы возникают из колебаний струн, то в результате все частицы естественно включаются в одну теорию». В калибровочном подходе можно выделить исключительно простую теорию всего, которая постулирует, во-первых, классические частицы, во-вторых, первоначальную глобальную симметрию.

(частицы)	(поля)	(пространство-время)
принцип непрерывности, сохранения, детерминизма		
классическая механика	электромагнетизм	
гравитация		
принцип симметрии-сохранения		
квантовая механика	СТО	
вариационные принципы как исходные принципы физической теории		
	ОТО	
(релятивистская квантовая механика)		
принцип квантования переменных и взаимодействий		принцип геометризации
	единые геометрические теории поля ¹	
квантовая теория поля		
	геометризация взаимодействий – многомерные теории ²	
(каноническое квантование гравитации)		
калибровочная симметрия + теория расслоенных пространств		
сильное взаимодействие	слабое взаимодействие	(гравитация как калибровочное поле)
	электромагнитное взаимодействие	
	электрослабое взаимодействие	
	(стандартная модель ³)	
теория великого объединения		
суперсимметрия		
супергравитация		
теория всего		
(теория суперструн, теория петлевой квантовой гравитаций, теория E8 и так далее)		

Рисунок 11 – Категориально-принципиальная модель эволюции физических теорий

¹ см. Визгин В. П. Единые теории поля в первой трети XX века. М.: Наука, 1985.

² см. Владимиров Ю. С. Метафизика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002

³ Wayne A. Theoretical unity: the case of the standard model // Perspectives on Science. 1996. № 4.

Резюме параграфа

- На основе анализа моделей эволюции физики мы можем выделить две главные идеи в эволюции физического познания, а именно: идею симметрии и идею геометризации взаимодействий, поскольку именно с их помощью происходили попытки построения объединенных теорий взаимодействий.
- Показано, что физическое познание развивается нелинейно в рамках взаимодействия метафизических программ. В развитии современной физики происходит экстраполяция на новые области исследования двух программ, первая из которых основана на общей теории относительности (геометрическая полевая программа), а вторая – на квантовой механике (квантово-релятивистская программа). Обе программы классифицируются как редукционистские, поскольку в них постулируются физические объекты, которые могут быть описаны в таких категориях как пространство-время, частица, поле.

3.2 Анализ гипотетических теорий объединения

Философско-методологический обзор теорий–кандидатов, претендующих на объединение фундаментальных взаимодействий, проводится для того, чтобы показать релевантность разработанной в предыдущих главах методологии, а также сделать заключение о том, какая из теорий и какой из физических подходов можно считать наиболее успешным с точки зрения объединения знания (фундаментальных взаимодействий) на данном этапе развития физического познания. Кроме того, анализ необходим для лучшего понимания частно–физических картин мира, связанных с этими теориями. В завершении анализа приводится сопоставительная таблица реализаций принципа унификации в теориях, а также приводятся некоторые методологические установки, которые, по нашему мнению, должны быть характерны для единой теории. В настоящее время существуют три теории, претендующие на объединение фундаментальных взаимодействий, а именно: теория суперструн, теория петлевой квантовой гравитации, исключительно простая теория всего.

Теория суперсимметрии. Поскольку в теорию суперструн включена теория суперсимметрии, постольку ее следует рассмотреть вначале. Теория суперсимметрии связывает частицы материи (фермионы) и частицы полей–переносчиков взаимодействий (бозоны), т.е. связывает вещество и взаимодействие. «Физический стимул к этому — существование среди элементарных частиц супермультиплетов, в которые группируют вместе частицы с различными спинами»¹ (например, гравитон — гравитино). Связь выражена в возможности трансформации частиц одного сорта в частицы другого сорта. Введение суперсимметрии привело к тому, что все частицы объединяются в единый набор — суперполе. В этом поле бозонные и фермионные поля возникают в качестве компонент в разложении суперполя по грассмановым координатам.

С философской точки зрения суперсимметрия вводит идею суперчастицы, «которая характеризуется стрелкой в некотором вспомогательном многомерном пространстве. По мере вращения этой стрелки частица становится гравитоном, гравитино, фотоном, кварком и т. д. Кванты всех взаимодействий присутствуют в теории, все они объединены и возникают из единого источника»². Комбинация суперсимметрии с внутренней симметрией объединяет все частицы в единое семейство, что можно квалифицировать как редукционистское объединение, возникающее под требованием математизации (алгебра Грассмана в суперпространстве) и простоты (суперчастица как объединенный объект).

Из теории суперсимметрии выводится теория супергравитации. Суть перехода описана в работе Д. Фридмана: «Построение калибровочной теории суперсимметрии исходит из наблюдения, что повторное применение суперпреобразования приводит к физическому смещению частицы. Чтобы получить локально суперсимметричную теорию, надо ввести калибровочные поля и для сдвига в пространстве–времени, и для суперпреобразования. Сдвиг в пространстве–времени — это преобразование Пуанкаре, а соответствующее калибровочное поле — гравитон со спином 2. Так гравитация естественным образом возникает в этой теории, и по этой причине локальную суперсимметрию обычно называют супергравитацией»³.

¹ Бергман П. Единые теории поля // Успехи физических наук. 1980. № 1. С. 188.

² Фридман Д. Супергравитация и унификация законов физики // Успехи физических наук. 1979. №1. С. 153.

³ Там же. С. 150.

*Теория суперструн*¹. В 1960–х гг. в адронной физике (теория элементарных частиц) фундаментальным объектом вместо классической точечной частицы стали считать протяженную микроскопическую струну. Это было связано с открытием зависимости между спином адрона и его массой, что позволило рассматривать адроны как проявления протяженного объекта «реджеона». В последующие годы разрабатывалась струнная интерпретация реджеонов. В 1970 г. Намбу и Сасскинд предложили рассматривать взаимодействующие друг с другом адроны как частицы, находящиеся на концах колеблющейся нити.

Так возникла модель, в которой элементарные частицы интерпретируются в виде одномерных вибрирующих струн. Процедура квантования струны приводит к тому, что она может вибрировать с различными «частотами», причем каждая «частота» моделирует элементарную частицу. Оказалось, что некоторые струнные соответствуют свойствам гипотетического кванта гравитационного поля «гравитона». Как пишет Энтони: «Подобно тому, как колебания струны скрипки есть набор гармоник, возбуждения «частицы–струны» есть набор точечных состояний. Каждая высшая гармоника «частицы–струны» будет наблюдаться как новая частица с массой больше масс предыдущих частиц. Все частицы, которые мы знаем и, может быть, откроем в будущем,— это низшие гармоники струн»².

В 1985 ученые предположили, что теория струн (фундаментальная струна) может описать все элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия. Происходит объединение квантов вещества и поля. С философской точки зрения появление этого фундаментального объекта можно квалифицировать как редукционистское объединение, основанное на требовании простоты (боле простое описание адронов). При этом, с точки зрения физики, «Средняя длина струн оказывается порядка 10^{-35} м — так называемой планковской длины... является столь короткой, что для большинства приложений теории струн не отличаются от теорий точечных частиц»³.

Всплеск активности в струнных исследованиях привел к первой суперструнной революции, которая была связана с открытием двух способов введения суперсимметрии

¹ см. Грин Б. Ткань космоса: Пространство, время и текстура реальности. М.: ЛИБРОКОМ, 2009, Цвибах Б. Начальный курс теории струн. М.: Едиториал УРСС, 2011, Waldrop M. String as a Theory of Everything Science // New Series. 1985. № 4719.

² Энтони С. Суперструны: всеобъемлющая теория? // Успехи физических наук. 1986. № 12. С. 580.

³ Грин Х. Теории суперструн в реальном мире // Успехи физических наук. 1986. № 12. С. 577.

в теорию струн (Грин и Шварц): первый — суперсимметрия поверхности струны, второй — пространственно–временная суперсимметрия¹. Технические особенности введения этих способов создали пять вариантов теорий суперструн.

Вторая суперструнная революция связана с идеей дуальностей. Если две теории связаны дуальным преобразованием, тогда каждое явление (величина) одной теории в некотором предельном случае имеет аналог в другой теории, т.е. существует «словарь», с помощью которого теории можно перевести друг в друга. Таким образом, дуальности связывают величины, которые ранее считались различными. В середине 1990 г. Виттен и Полчински на основе открытых дуальностей смогли представить вышеупомянутые пять теорий суперструн как предельные случаи некоторой 11–мерной М–теории. Как пишет Б. Грин: «Виттен... предположил, что пять теорий струн, имеющих совершенно разную структуру, на самом деле являются лишь разными способами описания одного и того же физического мира»². С точки зрения реализации принципа унификации перед нами редукционистское объединение, поскольку разные в математическом отношении теории оказались сущностно тождественны и объединены в единую теорию посредством требования математизации и соответствия (дуальное преобразование).

Размерность пространства–времени в теории зависит от принятия принципа инвариантности. Например, теория бозонных струн требует 26–мерное пространство–время, а суперструнные теории – 10–мерное³. По этому поводу Грин пишет: «реалистическая теория великого объединения, основанная на группе E_6 , может быть получена как следствие $E_8 \times E_8$ – теории суперструн при условии, что шесть дополнительных измерений образуют так называемое пространство Калаби — Яо... Группа E_6 долгое время рассматривалась в качестве возможной группы теории великого объединения, согласующейся с экспериментальными данными»⁴. Предложены два механизма устранения дополнительных размерностей. Во–первых, компактификация дополнительных измерений, т.е. скручивание до размеров планковской длины в геометрический объект, называемый пространством Калаби–Яо. Во–вторых,

¹ Hedrich R. String Theory – From Physics to Metaphysics. URL: arxiv.org/pdf/physics/0604171.

² Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. М.: Едиториал УРСС, 2004. С. 196.

³ Барбашов, Б. М., Нестеренко, В. В. Суперструны – новый подход к единой теории фундаментальных взаимодействий // Успехи физических наук. 1986. № 4.

⁴ Грин Х. Теории суперструн в реальном мире // Успехи физических наук. 1986. № 12. С. 578.

локализация частиц на четырехмерном мировом листе (наблюдаемая часть вселенной), который называется браной.

В настоящее время различают два типа теории суперструн: теории открытых струн и теории замкнутых струн. «Ввиду того, что свободные концы одной струны могут коснуться и слиться, теория струн с открытыми концами должна содержать внутри себя теорию замкнутых струн... так называемые «калибровочные» взаимодействия — такие, как сильные, слабые или электромагнитные — переносятся открытыми струнами, тогда как замкнутые струны переносят гравитационное взаимодействие»¹.

В связи с этим возникает вопрос о единственности теории суперструн, потому что «имеется большое число возможных пространств Калаби — Яо, и совсем не просто установить, какое из них (если вообще какое-то) отвечает реальности. Интересно, что некоторые из этих пространств действительно приводят к «стандартной модели»².

Важно отметить, что теория струн соблюдает принцип преемственности (требование методологического принципа унификации). «Общая теория относительности и калибровочные теории других взаимодействий следуют из теорий суперструн как приближенные теории, справедливые на расстояниях больше 10^{-35} м. Это указывает на то, что должна существовать гораздо более естественная формулировка теорий суперструн, основанная на некотором обобщении эйнштейновского принципа общей относительности»³.

Теория струн имеет статус гипотезы, при этом она не дает однозначных предсказаний, в виду чего нельзя провести критический эксперимент. В обозримом будущем не представляется возможным проверить теорию.

В теории струн фундаментальная струна существует на пространственно-временном фоне. Пенроуз указывает, что «теория струн, хотя и претендующая быть теорией гравитации, реально пока не пришла к соглашению с проблемой описания динамических степеней свободы пространственно-временной метрики. Пространство-время просто служит фиксированным фоном, на который налагаются ограничения, позволяющие самим струнам иметь полную свободу»⁴. Это говорит о том, что теория не соединяет объединенную категорию «масса-поле» с категорией «пространство-время».

¹ Энтони С. Суперструны: всеобъемлющая теория? // Успехи физических наук. 1986. № 12.

² Грин Х. Теории суперструн в реальном мире // Успехи физических наук. 1986. № 12. С. 578.

³ Там же.

⁴ Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 745.

Таким образом, требования принципа унификации (среди прочих, простота и математизация) реализуются не полностью.

*Теория петлевой квантовой гравитации*¹. Теория восходит к геометродинамике Уилера (подход, пытающийся на геометрическом языке объяснить физические явления). Программа Уилера может быть описана следующими словами: «В мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства. Материя, заряд, электромагнетизм и другие поля являются лишь проявлением искривления пространства. Физика есть геометрия»². По мнению Уилера классические объекты физики могут быть интерпретированы геометрически. Например, гравитация «проявляется в искривлении геодезических линий в римановом пространстве»; неквантованный заряд есть «проявление силовых линий, заключенных в «ручку», образованную многосвязной топологии»³. Однако геометродинамика не смогла объяснить квантовых явлений (например, спин частицы).

Подходы к квантованию гравитации основываются на предположении, что взаимодействия имеют одну и ту же природу. Поскольку трем нефундаментальным взаимодействиям соответствуют частицы–переносчики, постольку и для гравитационного взаимодействия должен существовать переносчик – гравитон. Гравитоны взаимодействуют так же, как другие частицы, ввиду чего возможно построить для них диаграммы Фейнмана. Существуют исследования, в которых развивается этот подход. «Гравитация действительно похожа на другие взаимодействия, хотя и с неожиданной точки зрения – она проявляет себя как «двойная копия» сильного ядерного взаимодействия, которая удерживает вместе части ядра. Сильное ядерное взаимодействие передается частицами, которые называются глюонами; гравитация должна передаваться частицами, которые известны как гравитоны. Новое заключается в том, что каждый гравитон ведет себя как два глюона, соединенные друг с другом»⁴.

Геометрический подход может быть рассмотрен с точки зрения реализации принципа унификации, а точнее – требования объяснения и простоты. Сумма этих требований может быть выражена в следующем регулятиве – требование объяснения физических явлений с единой точки зрения (в данном случае – геометрической). Таким

¹ Smolin L. Welcome to Quantum Gravity // Physics World. 2003. №11 (16).

² Мизнер Ч., Уилер Д. Классическая физика как геометрия // А. Эйнштейн и теория гравитации. М., 1979. С. 544.

³ Там же.

⁴ Bern Z. Loops, Trees and the Search for New Physics // Scientific American. 2013. №2s. С. 36.

образом, этот подход может быть квалифицирован как синтетическое объединение, до тех пор, пока не будет вскрыта единая сущность всех взаимодействий.

Следующие соображения описывают концептуальные трудности теории. Обычная квантовая теория предполагает четко определенный классический фон, на котором определяются флуктуации квантовомеханических величин. Колеблющаяся метрика, возникающая при квантовании гравитации, подразумевает колеблющуюся причинную структуру. Т.е. на планковских масштабах исчезают фиксированный пространственно–временной континуум и определенная причинно–следственная связь. Де Витт писал: «топологические флуктуации могут нарушить макроскопическую размерность пространства. Из–за подобных трудностей некоторые физики предположили, что общепринятое описание пространства–времени как гладкого континуума перестает быть правильным на планковском уровне и должно быть заменено чем–либо другим»¹. Новые теории пытались преодолеть эту трудность.

Историческая перспектива позволяет выделить линию преемственности физических теорий геометрического подхода². 1950 г.: идея канонического квантования; 1967 г.: уравнение Уилера – де Витта; 1988 г.: петлевая квантовая гравитация; 2000 г.: преонные модели.

Каноническая программа квантовой гравитации рассматривает пространственно–временную метрику как поле и пытается проквантовать ее. Основа заключается в процедуре канонического квантования гамильтониана общей теории относительности, которая предложена Дираком. В 1967 Уилер и Де Витт на основе этого метода получили для гравитационного поля обобщение уравнения Шредингера. Уравнение Уилера – де Витта является основным уравнением геометродинамики. Однако в этом подходе четырехмерное пространство–время расщепляется, в результате чего происходит потеря релятивистской ковариантности теории, которую требует принцип относительности. Из–за этого результата канонический подход на десятилетие оказался забыт.

В 1986 г. Аштекар переформулировал общую теорию относительности на основе спинорных переменных. Понятие «спинор» является обобщением понятия «вектор» и применяется для описания многих квантовых явлений (например, в уравнении Дирака). Таким образом, стало возможно провести квантование основного уравнения ОТО,

¹ ДеВитт Б. С. Квантовая гравитация // В мире науки. 1984. № 2.

² Rovelli C. Quantum Gravity, Cambridge: Cambridge University Press., 2007.; Hossenfelder S., Smolin L. Phenomenological Quantum Gravity. URL: arXiv:0911.2761.

используя методы теории возмущений. Некоторое время спустя Якобсон и Смолин показали, что уравнение Уилера–де Витта, переписанное в новых переменных Аштекара, допускает так называемые петлевые решения, с помощью которых удалось построить квантовую теорию гравитации. Петлевые переменные, которые вводятся для достижения общей ковариантности, могут быть интерпретированы геометрически: «вся метрика концентрируется вдоль петли наподобие дельта–функции и полностью исчезает вне петли. «Степень» этой концентрации измеряется значением «спина», приписываемого этой петле»¹.

На этой стадии реализация принципа унификации происходит под требованием математизации (введение спинорных переменных позволило с помощью одного математического языка рассмотреть как квантовые, так и релятивистские явления) и объяснения (геометрическая интерпретация решений уравнения Уилера–де Витта, полученных на основе введения спинорных переменных).

В 1994 г. Ровелли и Смолин показали, что квантовые операторы новой теории, ассоциированные с площадью и объемом, имеют дискретный спектр. Таким образом, было выяснено, что теория петлевой квантовой гравитации требует квантование пространства–времени. Для его описания использовали идею спиновой сети Пенроуза.

Спиновая сеть является математической моделью для описания физических явлений с помощью дискретных величин. Спиновая сеть основана на идее реляционных отношений (объекты описываются относительно друг друга, а не относительно пространственно–временного фона) и может быть представлена графом. Вершине графа сопоставляется объем порядка планковской длины; наличие элементарной частицы или поля обозначается меткой при вершине или, соответственно, при дуге. Изменение положения частиц и полей моделируется дискретными перемещениями меток по графу. «Идея состояла в том, чтобы все необходимые пространственные структуры строились просто из сетки спинов и характеризовались вероятностями... Эти спиновые сети обладают тем свойством, что в каждой вершине сходятся ровно три линии. Это приводит к единообразию при вычислении вероятностей. Все, что требуется знать, —

¹ Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. – М.–Ижевск: ИКИ, НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2007. С. 781.

это топологическая (графическая) структура спиновой сети и значения спина, соответствующие каждой линии»¹.

Важность реляционных отношений обнаружил и показал Эйнштейн. Принцип относительности утверждает, что пространственно–временные координаты являются удобным средством описания объектов, однако они не должны играть особой роли в постановке физических законов. Подобную мысль высказали Ровелли: «Нет больше полей в пространстве–времени: только поля на полях»² и Пенроуз: «Все должно выражаться через связи между объектами, а не между объектом и некоторым фоновым пространством»³.

Таким образом, пространство–время как фон событий перестает быть значимым; гравитационное взаимодействие представляется только как одно из полей, образующих мир. Реляционная трактовка гравитации представляет собой шаг по направлению к единообразному описанию всех взаимодействий и может быть понята как составная часть принципа относительности. Ввиду сказанного ясно, что теория петлевой квантовой гравитации обобщает принцип относительности Эйнштейна (что является реализацией принципа унификации через требование простоты). В самой теории этот принцип называется принципом диффеоморфной инвариантности («для отображения пространства–времени и построения уравнений можно выбрать любую систему координат. Точка в пространстве–времени задается физически происходящими в ней событиями»⁴).

В 2005 г. Бильсон–Томпсон и Смолин предположили, что теория петлевой квантовой гравитации может воспроизвести Стандартную модель, а также объединить четыре фундаментальных взаимодействия⁵. Предположение было основано на введении фундаментального неклассического объекта – брэда. Этот объект соответствует возбужденному состоянию квантованного пространства–времени и может быть представлен как протяженная (двумерная) ленточная структура. Также его можно представить как топологическую складку пространства–времени. Брэды

¹ Там же. С. 787.

² Rovelli C. Quantum Gravity, Cambridge: Cambridge University Press., 2007

³ Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 785.

⁴ Smolin L. Atoms of Space and Time // Scientific American. 2004. №23, Lisi A. G., Smolin L. Unification of gravity, gauge fields, and Higgs bosons // J.Phys. 2010. A43: 445401.

⁵ Bilson-Thompson S. A topological model of composite preons. URL: <http://es.arxiv.org/abs/hep-ph/0503213>.

взаимодействуют как точечные структуры и могут переплетаться в тройки. С помощью этой модели удалось построить первое поколение фермионов¹.

С точки зрения принципа унификации введение этого фундаментального объекта можно квалифицировать как редукционистское объединение, возникающее в связи с требованием математизации (использование алгебры спиноров и спиновой сети) и простоты (брэд объединяет три физических категории «массы», «поля» и «пространства-времени»).

Если сравнивать эту теорию с теорией струн, следует сказать, что в данном случае достигается более сильное объединение, поскольку и кванты пространства-времени и кванты бозонов и фермионов возникают из единого объекта. Ввиду вышесказанного теория петлевой квантовой гравитации, очевидно, является фоновезависимой («геометрия пространства-времени не фиксирована, она является динамической величиной»²). Обратим внимание на отношения преемственности этой теории с классическими теориями: «Квантовая теория гравитации есть квантование ОТО или некоторого обобщения ее, включающего поля материи, такой как супергравитация»³. Таким образом, помимо прочего, выполняются требования соответствия и преемственности принципа унификации.

*Исключительно простая теория всего*⁴. Гипотетическая теория объединения под названием «исключительно простая теория всего» опубликована в 2007 г. Она основана на исключительной группе Ли E_8 . Ее автор, Э. Лиси, пишет: «Основная идея заключается в том, чтобы расширить теории великого объединения и включить гравитацию как часть согласованной геометрической концепции. В этой единой теории поля, называемой E_8 , все силы и вещество описываются как повороты единого геометрического объекта»⁵.

Теория основана на следующих идеях и принципах:

1. Калибровочный подход (взаимодействия рассматриваются как калибровочные поля) и идея нарушения симметрии (симметрия первоначальной группы нарушается

¹ Bilson-Thompson S. Quantum gravity and the standard model. URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0603022>.

² Smolin L. How far are we from the quantum theory of gravity? URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0303185>.

³ Там же.

⁴ см. Lisi A. G. An Exceptionally Simple Theory of Everything. URL: <http://arxiv.org/abs/0711.0770>.

⁵ Lisi A. G., Weatherall J. O. A Geometric Theory of Everything // Scientific American. 2010. №303. С. 56.

благодаря механизму спонтанного нарушения симметрии). Введение единого принципа для исследования всех взаимодействий согласуется с требованием простоты принципа унификации. Такой же подход используется и в теории суперструн.

2. Групповой подход (язык теории – алгебра Ли, рассматриваемая на четырехмерном многообразии). Введение единого математического языка для рассмотрения всех взаимодействий согласуется с требованием математизации принципа унификации.

3. Идея суперсимметрии – бозоны и фермионы рассматриваются в рамках одного представления группы; группа обладает триальной симметрией, за счет которой возможно объяснить три поколения фермионов. Отметим, что суперсимметрия используется и в теории суперструн. Это тот механизм, который и позволяет объединить кванты вещества и поля.

4. Геометрическая интерпретация – взаимодействия интерпретируются в рамках теории расслоенных пространств. Введение этой интерпретации согласуется с требованием объяснения принципа унификации. Отметим, что геометрическая интерпретация используется в теории петлевой квантовой гравитации.

Теория Лиси включает следующие поля, частицы и взаимодействия: кванты электрослабого взаимодействия (промежуточные бозоны и фотон электрослабой теории); кванты сильного взаимодействия (глюоны); кванты гравитационного взаимодействия (Спиновая частица ω , частица e (фрейм)); набор бозонов Хиггса.

Исключительно простая теория всего объединяет в рамках одного представления группы E_8 все четыре фундаментальных взаимодействия, т.е. они вписаны в структуру алгебры этой группы. Если предыдущие теории объединяли взаимодействия за счет использования неклассического фундаментального объекта (требование простоты), то теория Лиси использует математическую структуру – группу E_8 – для такого объединения (требование математизации).

Поскольку все частицы–переносчики взаимодействий объединены в одном представлении группы, постольку можно утверждать, что все взаимодействия возникают вследствие искривления (спонтанного нарушения симметрии) математического пространства группы. По Лиси симметрия группы существует при сверхвысоких температурах. С понижением температуры первоначальная симметрия

нарушается, что позволяет взаимодействиям и частицам выделяться: у частиц появятся разные массы, у взаимодействий – разная интенсивность связи.

Таким образом, дано объяснение числа и свойств известных фундаментальных частиц; дано предсказание новых частиц; построена модель квантовой теории гравитации как калибровочного поля. В предельных случаях теория Лиси приводит к квантовой теории поля и общей теории относительности, поэтому требование преемственности принципа унификации также можно считать удовлетворенным. Отметим, что в теории нет свободных параметров, поэтому ее предсказания могут быть либо полностью подтверждены, либо полностью опровергнуты рядом критических экспериментов. Среди конкретных предсказаний модели – небольшое количество новых частиц.

Теория состоит из двух частей: алгебра (теория представляет собой алгебру Ли на четырехмерном многообразии); динамика (наименее разработанная область теории). На основании этого можно сказать, что перед нами на сегодняшний день скорее не теория всего, а своеобразная «классификация всего». Законченность теории связывается с возможностью описания трех поколений фермионов. Без полного описания того, как три поколения фермионов появляются, теория и все ее предсказания остаются неподтвержденными. Проблема остается наиболее значимой и пока она не будет решена, теория останется неполной.

Поскольку теория Э. Лиси использует идеи теории расслоенных пространств (геометрическая интерпретация калибровочных полей), следует остановиться на ней более подробно. Исходные понятия теории – слой, база, связность – определены в предыдущем параграфе.

Э. Лиси описывает соответствие между взаимодействиями, их переносчиками и геометрической интерпретацией последних. «Каждый тип элементарных частиц соответствует различному слою. Эти слои вращаются вокруг различных круговых слоев фотонов и других силовых частиц, вращение соответствует их электрическим и другим зарядам, которые математики называют «весами». Каждая сила природы имеет свой собственный тип заряда и опосредованные им свои собственные частицы–переносчики взаимодействий. Структура зарядов частиц описывает геометрию того, как слои

поворачиваются друг вокруг друга, управляя тем, как соответствующие частицы могут взаимодействовать»¹.

Далее Э. Лиси описывает вид расслоенного пространства каждого из взаимодействий, в том числе и объединенных.

Первое взаимодействие – электромагнитное. «Пространство расслоения электромагнитного взаимодействия состоит из окружностей, присоединенных к точке пространства–времени. Каждая окружность может немного вращаться относительно своих пространственно–временных соседей. Поле связности пространства расслоения описывает то, как соседние слои связаны при помощи симметричных вращений. Электрические и магнитные силовые поля, заполняющие пространство–время соответствуют кривизне этого пространства расслоения – геометрически, электрическое и магнитное поля – это то, как круговые слои вращаются вокруг времени и пространства. Электромагнитная волна – это волнообразное движение окружностей в пространстве–времени»².

Первое объединенное взаимодействие – электрослабое. Геометрически оно интерпретируется в виде двумерных торов, которые могут быть многими способами разрезаны на слои. Слои, частицы которых соответствуют бозонам Хиггса, вращаются вокруг электрослабой группы Ли и определяют набор окружностей, нарушающих симметрию.

Второе взаимодействие – сильное. «SU(3) слой – это восьмимерное внутреннее пространство, составленное из восьми наборов окружностей, вращающихся друг вокруг друга по сложным путям и производящих взаимодействия среди восьми типов фотоподобных частиц, называемых глюонами, по аналогии с тем, что они «склеивают» нуклоны вместе»³.

Гравитационное взаимодействие описывается группой Spin(1,3). Наиболее предпочтительная модель великого объединения описывается группой Spin(10). Объединенная группа Ли Spin(11,3) содержит 64 фермиона, в том числе бозоны Хиггса, и предсказывает их спины и заряды. Кривизна пространств расслоения этой группы правильно описывает динамику всех фундаментальных взаимодействий. Структура этой группы является частью структуры группы E8. Как указывает Лиси: «гравитация и

¹ Там же. С. 58.

² Там же. С. 56.

³ Там же. С. 57.

другие известные силы, Хиггс и фермионы первого поколения Стандартной модели являются частями объединенного суперсвязного поля пространств расслоения E_8 ¹. Таким образом, реальная Вселенная может быть естественным образом объяснена единой математической структурой.

Резюме параграфа

- На основании предыдущего параграфа в развитии современной физики были выделены две исследовательские программы, первая из которых основана на общей теории относительности (геометрическая полевая программа), а вторая – на квантовой механике (квантово-релятивистская программа). Если первая связана с признанием и обобщением принципов общей теории относительности: принципа относительности, принципа диффеоморфной инвариантности, реляционной концепции пространства–времени; то вторая придерживается квантовых идей, что выражается в том, что теории являются зависящими от пространственно–временного фона.
- Поскольку обе программы постулируют существование единого неклассического объекта, постольку оба можно назвать редукционизмом (это теория струн и теория петлевой квантовой гравитации). Сравнивая эти теории, можно говорить о степени фундаментальности неклассического объекта и, соответственно, о степени проявления редукционизма в теории. В калибровочном подходе можно выделить исключительно простую теорию всего, которая постулирует, во–первых, существование классических частиц, во–вторых, постулирует существование первоначальной глобальной симметрии. Этот подход можно назвать синтетизмом, поскольку здесь нет единого фундаментального объекта. Следует понимать, что в ходе развития подходов понимание возможности единств может в корне измениться.
- На основании анализа теорий мы составили сравнительную Таблицу 18.

¹ Там же. С. 61.

Таблица 18 – Сравнительная таблица теорий-кандидатов на единую теорию

Реализация унификации	Теория суперструн	Теория квантовой гравитации	Исключительно простая теория всего
сохранение – наличие общего закона сохранения	1) законы сохранения лежат в основе теории суперсимметрии; 2) вариационные принципы.		законы сохранения лежат в основе теории симметрии (суперсимметрии);
математизация – объединение через концептуальные структуры,	1) суперсимметрия; 2) вариационные принципы; 3) теория групп (группы Ли);	спиновые сети	1) суперсимметрия; 2) теория групп (группы Ли); 3) единая мат. структура;
простота – минимум оснований при прочих равных условиях	протяженные струны (объединение фермионов и бозонов) на фоновом пространстве-времени;	протяженные волокна (единый объект, формирующий фермионы, бозоны и кванты П-В);	микроскопические частицы (объединение фермионов и бозонов);
соответствие	В предельных случаях теория приводит к квантовой теории поля и общей теории относительности.		
симметрия	взаимодействия рассматриваются как калибровочные поля;	калибрует все или часть локальных лоренцевых преобразований;	взаимодействия рассматриваются как калибровочные поля;
редукционистская унификация	струны как объединение квант вещества и квант поля;	брэды как объединение вещества, поля и пространства-времени;	единая математическая структура на основе группы Ли E8 описывает известные элементарные частицы;
синтетическая унификация	алгебра групп Ли как математический аппарат, единообразно описывающий фундаментальные взаимодействия.	геометрический подход, позволяющий единообразно описать фундаментальные взаимодействия.	алгебра групп Ли как математический аппарат, позволяющий единообразно описать фундаментальные взаимодействия.

• Исследование и оценка существующих гипотетических концепций объединения всех взаимодействий (теория суперструн, теория петлевой квантовой гравитации) показали, что на сегодняшний день ни одна из них не удовлетворяет в полной мере всем перечисленным критериям. Так, в теории струн нет обобщенного закона сохранения и обобщенной математической структуры. Суперструну интерпретируют в категориях

частицы и поля, при этом она существует в статическом пространстве-времени, что является концептуальным затруднением теории. В теории петлевой квантовой гравитации нет обобщенного закона сохранения. Пространственные волокна этой теории интерпретируют как кванты пространства-времени, полей и частицы, что позволяет обойти затруднение теории суперструн.

- На основании настоящего и предыдущих параграфов мы можем предложить список методологических установок, которые, вероятно, должны быть присущи теории всего:

- 1) преемственность (возможность предельного перехода к квантовой механике и общей теории относительности);
- 2) обобщенный закон сохранения,
- 3) существование группы симметрии в теории (групповой подход);
- 4) единство фундаментальных постоянных (для объединения взаимодействий);
- 5) единая математическая структура или неклассический фундаментальный объект;
- 6) калибровочный подход и его геометрическая интерпретация (спорно).

3.3 Эволюция основных категорий физики¹

Параграф нацелен на исследование ключевых категорий физического познания – «пространство–время» и «взаимодействие», поскольку их эволюция (изменения) отражает тенденцию к объединению или разобщению знания на философском уровне физического познания. Помимо этого с их помощью строятся физические картины мира, являющиеся на философском уровне реализацией принципа унификации в физике.

По нашему мнению, категории физики можно свести (редуцировать) к двум основным категориям: «пространство-время» и «взаимодействие». Доказательство подобной редукции может быть получено на основе теории размерностей (физических величин).

¹Содержание параграфа частично опубликовано: Безлепкин Е.А. Механизмы объединения знания в теориях классической физики. Философия науки. 2013. № 3 (58). С. 72-97.

Под размерностью обычно понимают произведение основных (независимых) физических величин, необходимых для описания состояния объекта в принятой системе мер. Например, размерность скорости $[LT^{-1}]$, где $[T]$ – размерность времени, а $[L]$ – длины. Например, Н. А. Морозов писал, что: «по двум–трем соотношениям, даже часто и по одному, между несколькими сложными физическими деятелями в природе можно математическим путем определить и все остальные соотношения, подобно тому как в зоологии по одному зубу животного можно начертить и все остальное его тело»¹. Понятие о размерностях физических величин ввел К. Ф. Гаусс. Ему принадлежит идея редукции единиц измерения всех физических величин к величинам длины, массы и времени (система СГС – миллиметр, миллиграмм, секунда). Все остальные величины могут быть сведены к этим базовым величинам.

Эта точка зрения может быть подтверждена следующей цитатой: «В механике, которая является фундаментальной наукой, три единицы измерения, а именно единицы длины, массы и времени, приняты в качестве основных; в 1832 году Гаусс назвал их абсолютными единицами. Очевидно, эти единицы представляют собой элементарные научные категории, которые не могут быть ни выведены одна из другой, ни сведены к еще более простым единицам. Остальные употребляющиеся в физике единицы называются производными. Например, единицы скорости и ускорения выражаются через две основные единицы: длину и время. Единицы измерения силы, момента, механической энергии и мощности зависят от всех трех основных единиц»². Эти величины, наделенные теми или иными физико–философскими свойствами (например, однородностью для времени и длины), мы можем интерпретировать как категории (физики). Поскольку величины могут быть редуцированы, постольку та же операция может быть проведена и над категориями.

Покажем независимость величин длины, массы и времени на примере международной системы единиц СИ. В ней постулировано семь основных размерностей: длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества, силы света. Например, величина «ампер» может быть сведена к описанию взаимодействия сил на расстоянии. Размерность силы: $[LMT^{-2}]$, т.е. произведение основных размерностей. Рассматривая и другие величины, можно

¹ Морозов Н. А. Повести моей жизни [в 3 т.] Т.3. М.: АН СССР, 1947.

² Хантли Г. Анализ размерностей. М.: Мир, 1970. С. 10.

убедиться в их сводимости к основным величинам – массе, длине и времени. Таким образом, именно последние величины мы можем считать основными, т.е. независимыми для любой системы мер.

Важно отметить потенциальную возможность сведения понятия «масса» к понятию притяжения и далее к размерностям времени и длины. По этому поводу приведем высказывание Максвелла: «Если же, как в астрономической системе, единица массы выражена через силу ее притяжения, то размерность $[M]$ оказывается такой: $[L^3T^{-2}]$ »¹. Т.е. размерность силы выражается через размерности времени и длины. Таким образом, величина измерения «масса» потенциально сводима к величинам измерения длины и времени, что физически подтверждается принципом эквивалентности Эйнштейна.

Переходя от анализа размерностей к категориям, мы можем говорить о двух базовых категориях, а именно: «пространство–время» (размерности длины и времени) и «взаимодействие» (более фундаментальная категория физики, чем масса). По поводу первой категории, например, М. Д. Ахундов писал: «Пространство и время... выступают не только базисными понятиями классической механики, но и упорядочивающими структурами теоретического мира»². Вторая категория связана с понятиями движения и изменения, а также с физическими концепциями «сила» и «действие».

Категория «пространство–время».

Категория «пространство» связана с геометрией, которая принимается в физической теории, причем их взаимосвязь неоднозначна³. М.Д. Ахундов указывает, что «геометрия связана с реальным миром лишь через определенную физическую теорию. Мы не можем получить сепаратной эмпирической верификации какой-либо геометрии и всегда оперируем комплексом геометрия (Г) + физика (Ф)»⁴.

Классическая механика постулирует, что геометрия Евклида является моделью физического пространства. Ньютон писал, что «геометрия основывается на механической практике и есть не что иное, как та часть общей механики, в которой излагается и доказывается искусство точного измерения»⁵. Фундаментальными

¹ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т.1. М.: Наука, 1989. С. 31.

² Ахундов М. Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюция, перспективы. М.: Наука, 1982. С. 177.

³ см. Головкин Н. В. Философские представления о пространстве и времени. Концептуальное пространство–время и реальность. Новосиб. гос. ун-т.: Новосибирск, 2006

⁴ Там же. С. 170.

⁵ Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. С. 37.

положениями его механики можно считать следующие: 1) пространство трехмерно, однородно, изотропно; 2) время одномерно, однородно; 3) пространство содержит в себе физические тела (материальные точки), изменяющиеся с течением времени; 4) материальные точки определяются через соответствующие им точки абсолютного пространства. Постулируется принцип дальнего действия: «Статус дальнего действия определяется не природой гравитации, а самой субстанциональной концепцией пространства и времени... В рамках этой картины допущение наличия в природе максимальной и конечной скорости c ведет к... выражению $c + v = c$ при $v \neq 0$. Логика восстанавливается лишь при условии $c = \infty$ »¹.

Электромагнетизм Максвелла. Уравнения Максвелла для полей записаны с помощью аппарата векторного анализа, который оперирует дифференциальными уравнениями². Поскольку в них дифференцирование происходит по временной координате, постольку они оказываются аппаратом, поддерживающим принцип близкого действия (конечная скорость распространения деформаций поля). Геометрические представления Максвелла можно найти в цитате: «Введение Декартом координатных осей... свело методы геометрии к расчетам, совершаемым над численными величинами. Положение точки сделалось зависящим от длин трех линий... а линия, соединяющая две точки, подобным же образом стала рассматриваться как результирующая трех линий»³. Уравнения Максвелла используют частные производные по трем пространственным координатам, т.е. используют трехмерное евклидово пространство, обладающее признаками однородности и изотропности.

Специальная теория относительности. Пуанкаре и Лоренцем были выведены преобразования, для которых уравнения электромагнетизма инвариантны, однако в них наравне с изменением пространственных координат входило изменение временной координаты. После этого Г. Минковский ввел понятие четырехмерного (псевдоевклидова) метрического пространства, т.е. нашел замену для абсолютного пространства и времени. Пространство Минковского является обобщением евклидова пространства и сохраняет понятие однородности и изотропности для инерциальных систем отсчета. Редукция пространственно-временного континуума происходит при

¹ Ахундов М. Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюция, перспективы. С. 184.

² Кузнецов, 1952: 263

³ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т.1. М.: Наука, 1989. С. 35.

предельном переходе $c \rightarrow \infty$ или $v_0 \rightarrow 0$, преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея.

Общая теория относительности. СТО является предельным случаем ОТО при переходе к бесконечно малым областям пространства–времени. При переходе к конечным областям пространство СТО обобщается на четырехмерное псевдориманово пространство. Это пространство снабжено метрическим тензором, меняющимся от точки к точке гладким непрерывным образом. Интервал СТО может быть переопределен как метрический тензор с постоянными коэффициентами, что определяет гладкость пространства. Метрический тензор ОТО в общем случае имеет переменные коэффициенты, что соответствует искривленному пространству. Р. Пенроуз писал: «пространств Эйнштейна может быть много, в соответствие с различными, не эквивалентными друг другу гравитационными полями. Здесь, как и в случае пространства–времени Ньютона, физический смысл имеют лишь приливные гравитационные силы, существующие при наличии градиента «поля гравитационного ускорения»¹. Пенроуз характеризует пространство–время ОТО: «Такие приливные силы описываются через отклонение внутренней структуры геодезических от аналогичной структуры пространства–времени Минковского, иначе говоря, кривизной пространства–времени Эйнштейна... Эйнштейновские уравнения гравитационного поля описывают связь этой кривизны пространства–времени с плотностью материи»². В этом пространстве времени сохраняются постулаты изотропности и однородности³. В пределе слабых гравитационных полей ОТО переходит в классическую механику.

По М. Д. Ахундову переход от классической физики к релятивистской сопровождался сменой концепции пространства. Он пишет: «на эмпирическом уровне произошел переход от экстенсивных относительных пространства и времени к реляционным пространству и времени»⁴, о чем мы писали выше.

Таким образом, мы имеем следующую цепочку обобщений категории пространства⁵:

¹ Пенроуз Р. Структура пространства–времени. М.: Мир, 1972. С. 23.

² Там же. С. 23.

³ Толмен Р. Относительность, термодинамика, космология. М.: Наука, 1974. С. 496.

⁴ Ахундов М. Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюция, перспективы. С. 192.

⁵ см. Розенфельд Б. А. История неевклидовой геометрии. М.: Наука, 1976.

1) классическая механика использует для описания категории пространства образ плоского, изотропного и однородного пространства Евклида;

2) СТО использует обобщение пространства Евклида на четырехмерное (псевдоевклидово, плоское) пространство–время Минковского;

3) ОТО использует обобщение пространства Минковского на понятие риманова многообразия (искривленное пространство).

Основной чертой развития физики можно считать постепенную потерю наглядности физических представлений. Происходит математизация понятий, которую можно связать с переходом от исследования макромира к исследованию мегамира и микромира. В некотором смысле изучение природы сводится к исследованию математических структур и математическому моделированию.

Квантовая механика использует пространство Гильберта, которое является обобщением пространства Евклида, во–первых, для случая бесконечной размерности, во–вторых для поля не только вещественных, но и комплексных чисел. Дирак писал по этому поводу, что физическому понятию «состояние динамической системы» в евклидовом пространстве сопоставляется математическое понятие «вектор» в бесконечномерном пространстве Гильберта¹, причем вектор определяется не «длиной», а «направлением», поскольку в этом пространстве не действует аксиома Архимеда о сравнении длин. В пространстве векторов квантовой механики нельзя определить какое число «больше», а какое «меньше». Об особенностях пространства микромира догадывался уже Б. Риман. «Эмпирические понятия, на которых основывается установление пространственных метрических отношений, – понятия твердого тела и светового луча – по–видимому, теряют всякую определенность в бесконечно малом. Поэтому вполне мыслимо, что метрические отношения пространства в бесконечно малом не отвечают геометрическим допущениям»².

Можно выделить три пути развития неклассических теорий: «1) в рамках классических пространства и времени – этот путь сопряжен с неестественными усложнениями теории и иногда употребляется на начальных этапах развития теории; 2) в рамках абстрактных математических многообразий... 3) в рамках неклассического

¹ Дирак П. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979. С. 29–34.

² Риман Б. О гипотезах, лежащих в основании геометрии // Об основаниях геометрии. М.: Наука, 1956.

пространства–времени»¹. Например, если обратиться к квантовой теории поля, то можно заметить, что пространство–время этой теории является обобщением евклидова пространства: «математический формализм квантовой теории поля диктуется принципами квантовой теории и кинематической структурой, которая вытекает из наших понятий о псевдоевклидовом четырехмерном пространстве–времени»². В квантовых теориях мы сталкиваемся с идеей пространственно–временного фона, на котором происходят квантовые события, причем этот фон является классическим пространством–временем.

Рассмотрим другие представления о пространстве, используемые в современных теориях.

Во–первых, теория расслоенных пространств. Базовыми понятиями этой теории являются понятия базы, слоя и связности. «Расслоение — это математическая структура, состоящая из двух различных систем точек, называемых базой B и полным пространством E , и правила p , называемого проекцией, которое ставит в соответствие каждой точке из E некоторую точку из B »³. Теория расслоенных пространств позволяет интерпретировать калибровочные поля как связности в расслоениях над базовым пространством–временем. Совокупность преобразований внутренней симметрии элементарных частиц интерпретируется как слой в этом расслоении. Этот прием позволяет геометрически интерпретировать калибровочные теории.

Теория расслоенных пространств может рассматриваться как обобщение классического пространства–времени, поскольку базой может выступать обычное пространство–время, как например, в исключительно простой теории всего. В подтверждение этого приведем цитату Лиси: «Главная геометрическая идея, лежащая в основе Стандартной модели, заключается в том, что каждая точка в нашем пространстве–времени имеет структуры, прикрепленные к ней, и называемые слоями, причем каждый слой соответствует различному роду частиц. Вы можете вообразить вселенную в виде китайской фигурки (терракотовая фигурка, покрытая ростками). Поверхность фигурки аналогична пространству–времени, а ростки аналогичны слоям. Весь геометрический объект — пространство–время, слои называются пространством расслоения. Слои не находятся в нашем пространстве, они вне его, они могут быть

¹ Ахундов М. Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюция, перспективы. С. 202.

² Тирринг В. Е. Принципы квантовой электродинамики. М.: Высшая школа, 1964. С. 225.

³ Бернштейн Г. Расслоения и квантовая теория // Успехи физических наук. 1982. № 4. С. 672.

мыслимы как различные, внешние пространства, прикрепленные к каждой точке нашего пространства–времени, причем их форма соответствует свойствам частиц»¹.

Во–вторых, теория суперсимметрии. Суперсимметрия вводится для того, чтобы объединить частицы материи (фермионы) с частицами полей–переносчиков взаимодействий (бозонов). Пространство суперсимметрии обобщается на суперпространство (расширение пространства Минковского) и его следует представлять как математическое пространство, в котором находятся суперчастицы, из которых, посредством комбинации преобразований (нарушений симметрии), можно получить любые существующие частицы.

Категория «взаимодействие».

Классическая механика. Ньютон вводит понятие «притяжение», которое определяет как «стремление тел к взаимному сближению, происходит ли это стремление от действия самих тел... или это стремление вызывается эфиром или воздухом, или вообще какою–либо средою, материальною или нематериальною»². То есть притяжение – это свойство сил. Понятие тяготения: «Тяготение существует ко всем телам вообще и пропорционально массе каждого из них»³. Это седьмая теорема. Ньютон формулирует следствие 1-ое об аддитивности тяготения и следствие 2-ое: «Тяготение к отдельным равным частицам тел обратно пропорционально квадратам расстояний мест до частиц»⁴. Складывая вместе теорему и следствия, мы получаем формулу, которая выражает закон тяготения. Таким образом, тяготение можно определить как универсальную силу, действующую между частицами тел, пропорциональную массе каждого из них и обратно пропорциональную квадратам расстояний до них. Закон говорит о существовании двух точечных масс, которые мгновенно взаимодействуют между собой. Ньютон подчеркивает, что сила тяготения между частицами не эквивалентна магнитной силе: «Сила тяжести иного рода, нежели сила магнитная, ибо магнитное притяжение не пропорционально притягиваемой массе»⁵. Таким образом, категория «взаимодействие» выражена в понятии силы и идее, что материальные точки отклоняются от

¹ Lisi A. G., Weatherall J. O. A Geometric Theory of Everything // Scientific American. 2010. №303. С. 56.

² Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. С. 244.

³ Там же. С. 518.

⁴ Там же. С. 519.

⁵ Там же. С. 518.

инерциального движения в евклидовом пространстве под действием на них сил от других материальных точек.

Электромагнетизм. Закон Кулона о взаимодействии двух источников электрического заряда: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$, где q – заряд (электрический, магнитный), r – расстояние имеет эквивалентную структуру с уравнением закона тяготения. Эквивалентная структура формул может быть обусловлена, во-первых, эквивалентным определением массы и заряда через силы: для механики масса определяется через второй закон Ньютона; для электромагнетизма заряд определяется через закон Кулона. Во-вторых, наблюдается преемственность базовых величин – массы, времени и длины (а также категории пространства). В-третьих, имеют свойства дискретности, аддитивности, соответствующие взаимодействия теоретически обладают бесконечным радиусом действия (частицы переносчики не имеют массы покоя). По этому поводу приведем высказыванием Б. Г. Кузнецова: «Максвелл говорит о возможности исследовать одними и теми же математическими методами различные по своей природе величины. Негативное предупреждение – единый формализм не означает физического тождества электромагнитных и механических процессов – представляет собой другую сторону позитивного утверждения: физически нетождественные явления можно исследовать при помощи общих математических приемов»¹.

Масса и заряд – разные физические сущности, однако описание их через одинаковые физические связи (то есть через понятие силы) позволяет использовать один и тот же математический формализм и создать преемственность между категориями. Таким образом, в электростатике категория «взаимодействие» выражена в понятии силы и идее, что материальные точки (электрические заряды) отклоняются от инерциального движения в евклидовом пространстве под действием на них сил от других материальных точек (электрических зарядов). Обобщение происходит в электродинамике, где ключевой оказывается концепция поля как непрерывная совокупность точек пространства, которые характеризуются направлением и интенсивностью силы.

Следует ввести уточнения в понятие «взаимодействия», о котором пишет Я. Б. Зельдович: «например, электромагнитное поле можно подразделить на продольные и

¹ Кузнецов Б. Г. Принципы классической физики. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1958. С. 291.

поперечные компоненты. Поперечные компоненты описывают распространяющиеся волны; их квантование приводит к понятию световых квантов как частиц с определенным импульсом и энергией и нулевой массой покоя. Продольные компоненты описывают кулоновское взаимодействие; их квантование не вносит ничего нового. Кулоновское поле стационарно, оно не зависит от времени: не существует квантов продольного поля, которые могли бы удаляться от источника поля. Таким образом, электростатическое взаимодействие и испускание квантов — это два разных следствия одной теории; электростатическое взаимодействие не является результатом обмена свободными (поперечными) квантами¹. Таким образом, статическое и динамическое взаимодействия имеют различный характер.

Теория относительности. Поскольку ОТО постулирует, что искривленное пространство–время соответствует гравитационному полю в некоторой системе координат, постольку понятие силы исчезает. Происходит обобщение понятия «силы» на понятие «действие». Силовой закон классической механики обобщается на принцип наименьшего действия Лагранжа. Качественно можно сказать, что инерциальное движение по прямой линии в случае отсутствия силовых полей есть частный случай движения по искривленной траектории в случае наличия силовых полей. Поскольку гравитационное поле интерпретируется как искривление пространства–времени, постольку инерциальное движение точки происходит не по прямой линии, а по искривленной, причем истинное движение соответствует экстремуму функции, описывающей движение. Ландау и Лифшиц пишут: «Движение частицы в гравитационном поле должно определяться принципом наименьшего действия... так как гравитационное поле является ни чем иным, как изменением метрики пространства–времени... в гравитационном поле частица движется так, что ее мировая точка перемещается по экстремальной, или, как говорят, по геодезической линии в 4–пространстве... поскольку, однако, при наличии гравитационного поля пространство–время негалилеево, то эта линия не «прямая», а реальное пространственное движение частицы — не равномерно и не прямолинейно»². Уравнение геодезической является обобщением второго закона Ньютона, то есть принцип наименьшего действия связан отношениями преобразования с вторым законом Ньютона.

¹ Зельдович Я. Б., Новиков И. Б. Теория тяготения и эволюция звезд. М.: Наука, 1971. С. 103.

² Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. — М.: Наука, 1988. С. 317.

Таким образом, категория «взаимодействие» выражена в понятии «действие» и идее, что материальные точки движутся по геодезическим линиям в искривленном пространстве–времени. Распределение и движение других частиц (масса – энергия) в пространственно–временном континууме искривляет его, что оказывает влияние на геодезические линии, т.е. на тяготение. Обобщение заключается в концепции принципа наименьшего действия, а также в замене понятия силы на понятие действие.

В квантовой физике открыто еще два типа взаимодействий: слабое и сильное. Слабое взаимодействие является короткодействующим и ответственно за распад атомов и частиц. Сильное взаимодействие ответственно за устойчивость атомных ядер.

Основная идея квантовой физики для категории «взаимодействие» выражена в понятии «квантование взаимодействий». Эта идея заключается в том, что взаимодействия описываются как процесс распространения и поглощения частиц–переносчиков взаимодействия. Например, частицы–переносчики электромагнитного взаимодействия – фотоны, слабое взаимодействие передается калибровочными бозонами, сильное – глюонами. Что касается гравитационного взаимодействия, то при его квантовании обычно говорят о гравитонах.

Это наиболее трудный момент в современной физике, поскольку гравитоны, хоть и были предсказаны теоретически, но до сих пор не открыты. В исследованиях Берна говорится, что: «Частицы, которые переносят силы гравитации, известные как гравитоны, проявляют значительную схожесть с глюонами. Что интересно, с точки зрения математики каждый гравитон похож на два одинаковых глюона, работающих сообща... Это означает, что гравитация, фигурально говоря, — квадрат сильного ядерного взаимодействия»¹.

Для полного описания взаимодействия в квантовой физике вводится понятие виртуальной частицы. Взаимодействие происходит посредством обмена виртуальными частицами: так, частица испускает виртуальную частицу, в силу чего ее состояние изменяется. Другая частица поглощает виртуальную частицу и также изменяет свое состояние. В результате этого процесса возникает взаимодействие между частицами. Как образно писал Фейнман: «я представлю вам три основных действия, из которых возникают все явления, связанные со светом и электронами: – Действие 1. Фотон летит

¹ Bern Z. Loops, Trees and the Search for New Physics // Scientific American. 2013. №2s.

из одного места в другое. – Действие 2. Электрон летит из одного места в другое. – Действие 3. Электрон испускает или поглощает фотон»¹.

Однако, поскольку общая теория относительности утверждает, что гравитационное взаимодействие представляет собой искривление пространства–времени, постольку возникает непреодоленное до сих пор фундаментальное противоречие относительно природы гравитационного взаимодействия.

В релятивистской и квантовой физике для описания взаимодействий вводится функция Лагранжа, которая способна описывать движение и взаимодействие частиц. Как пишет Пенроуз: «лагранжианы обладают приятным свойством: если вводится какое–то новое поле, то его вклад обычно можно получить, просто прибавляя его лагранжиан к прежнему и добавляя также все необходимые члены взаимодействия»². Таким образом, использование формализма Лагранжа ведет к сохранению отношений преемственностями между теориями. Для того, чтобы функция Лагранжа описывала поле, вводится представление о функциональном анализе. «Главной новинкой в необходимых для этого формальных математических процедурах является понятие функционального дифференцирования. Лагранжиан, вместо того чтобы быть функцией конечного числа обобщенных координат $q_1, \dots, q_N$ и конечного числа обобщенных скоростей $\dot{q}_1, \dots, \dot{q}_N$ становится функцией некоторого количества полей $\Phi, \dots, R \dots$ и производных этих полей $a\Phi, \dots, aR$ »³. Понятно, что формализм Лагранжа обобщает предыдущие формулы, построенные без использования представлений о поле и функциональном анализе.

Таким образом, Таблица 18 отражает основные изменения представлений о категориях «пространство» и «взаимодействие».

¹ Фейнман Р. КЭД-странная теория света и вещества. М.: Наука, 1988. С. 77.

² Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 419.

³ Там же. С. 415.

Таблица 19 – Эволюция представлений о категориях «пространство» и
«взаимодействие»

теория	пространство	взаимодействие
классическая механика	евклидово пространство	действие на материальную точку силы от другой точки в евклидовом пространстве
классическая электродинамика	евклидово пространство 1) трехмерное 2) бесконечномерное	1) статика: действие на заряженную частицу силы от другой частицы в евклидовом пространстве; 2) динамика: непрерывная эволюция и взаимодействие силовых полей (линий)
теория относительности	риманово пространство	действие, имеющее экстремум, в искривленном пространстве–времени
квантовая механика	гильбертово пространство	действие на квантовую частицу силы от другой частицы,
квантовые теории поля	псевдоевклидово пространство	взаимодействие виртуальных частиц, описываемое принципом минимального действия

Таблица показывает, что качественное изменение одной из категорий ведет к изменению другой категории. Подчеркнем взаимосвязь свойств (симметрий) пространства–времени и взаимодействия. Пенроуз пишет, что теорема Нетер «утверждает, что если обычный лагранжиан обладает некоторой непрерывной (гладкой) симметрией, то существует некоторый закон сохранения, связанный с этой симметрией. В частности, если лагранжиан инвариантен относительно временной трансляции (т. е. он не зависит от времени), то имеет место сохранение энергии»¹. Любое взаимодействие отражает некоторую группу симметрии, вследствие чего имеет и закон сохранения. Законы сохранения отражают устойчивость в изменениях, которые происходят во времени и в пространстве.

Резюме параграфа

- В физических теориях происходит обобщение категории «пространство–время» от ранних теорий к поздним, вследствие чего возникает преемственность между ними. С ретроспективной точки зрения между теориями действуют отношения редукции по указанной категории.
- В физических теориях происходит обобщение категории «взаимодействие» от ранних теорий к поздним, вследствие чего возникает преемственность между ними. С

¹ Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 417.

ретроспективной точки зрения между теориями действуют отношения редукции по указанной категории.

3.4 Эволюция физических картин мира

Цель параграфа – показать реализацию принципа унификации на философском уровне физического познания путем анализа физических картин мира.

В основе каждой физической картины мира, по словам В. М. Мостепаненко, лежит базовое представление о материи: «пределы расширения физической картины мира надо связывать с тем, соответствуют или не соответствуют ее элементы положенным в ее основу представлениям о материи»¹. Л. Б. Баженов указывает на более широкое понимание картин мира: «Наиболее значительные теории всегда бывают связаны с выдвижением некоторых фундаментальных идей, оказывающих огромное влияние на формирование стиля мышления данной эпохи»².

Обоснование понятия «физическая картина мира» применительно к физической теории может быть следующим. Поскольку любая теория изучает не реальный объект с его многообразными свойствами, а идеализированные объекты, которые сохраняют только часть этих свойств, постольку в основе каждой теории «лежит своя идеализированная модель мира; каждая система формулирует исходную аксиоматику в терминах этой модели и, опираясь на нее, строит основные законы»³. В виду вышесказанного мы имеем право говорить о таких понятиях как категории, свойства категорий и физическая модель мира, т.е. о метафизике.

М. В. Мостепаненко замечает, что «главная тенденция каждой физической картины мира – дать единое стройное отражение объективной действительности»⁴, т.е. объединить описание и качественное объяснение явлений путем создания непротиворечивой онтологической модели. Таким образом, мы считаем, что

¹ Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. Л.: Наука, 1969. С. 6.

² Баженов Л. Б. Строение и функции естественнонаучной теории. М.: Наука, 1978. С. 178.

³ Айзерман М. А. Классическая механика. М.: Физматлит, 1980. С. 39.

⁴ Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. Л.: Наука, 1969.

существование физической картины мира является реализацией принципа унификации знания на философском уровне физического познания.

Обратим внимание, что в научном (физическом) исследовании выделяют несколько типов моделей. Например, Пайерлс пишет: «Общим элементом для... разных типов моделей служит то, что они помогают нам более ясно представить существо физических проблем путем анализа упрощенных ситуаций, более доступных нашей интуиции. Эти модели служат ступеньками на пути к рациональному объяснению реальной действительности»¹.

Пайерлс предлагает следующую классификацию физических моделей:

Тип 1: гипотеза (эфир);

Тип 2: феноменологическая модель (атомизм, кварковая модель);

Тип 3: приближение (идеальный газ);

Тип 4: упрощение (модель составного ядра);

Тип 5 эвристическая модель (средняя длина свободного пробега частицы);

Тип 6: аналогия (гейзенберговская модель ядерных сил);

Тип 7: мысленный эксперимент (г-микроскоп Гейзенберга).

Физические картины, или модели, мира включает в себя большинство типов, описанных Пайерлсом, ввиду чего их можно считать комплексными моделями.

Механистическая модель мира. Модель мира конструируют из трех независимых категорий: вещества, пространства и времени. «Физическая реальность характеризуется понятиями пространства, времени, материальной точки и силы (взаимодействия материальных точек)»². По поводу категорий пространства и времени Ньютон указывает, что: «время и пространство составляют как бы вместилища самих себя и всего существующего»³. Постулируется дискретная модель строения мира. Корпускулы, как и материальные тела любого размера, могут быть описаны материальными точками. «Под физическими событиями следует понимать движение материальных точек в пространстве, управляемое неизменными законами... Понятию материальной точки соответствуют обычные воспринимаемые нами тела»⁴.

¹ Пайерлс Р. Построение физических моделей // Успехи физических наук. 1983. № 2. С. 332.

² Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том IV. М.: Наука, 1967. С. 136.

³ Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. С. 32.

⁴ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том IV. М.: Наука, 1967. С. 136.

Основные законы и принципы – принцип инерции, закон движения и всемирного тяготения, тип взаимодействия – гравитация, распространяющаяся мгновенно и действующая одинаково на оба тяготеющих тела. Движение тел происходит по инерции, изменение движения (ускорение) – под воздействием на тело силы от другого тела, которая пропорциональна ускорению. Материальные тела движутся в абсолютном пространстве (однородном и изотропном) и абсолютном времени. Принимается принцип детерминизма: «каждая точка в отдельности в каждый момент времени находится в определенном состоянии, т. е. имеет определенное положение и обладает определенной скоростью. Ее движение можно совершенно точно вычислить, зная ее начальное состояние и локальные свойства силового поля в тех местах пространства, которые эта точка проходит при своем движении»¹.

Парадоксы модели – гравитационный парадокс. Теория Ньютона требует, «чтобы мир имел нечто вроде центра, где плотность числа звезд была бы максимальной и чтобы эта плотность убывала с расстоянием от центра так, что на бесконечности мир был бы совсем пустым. Звездный мир должен представлять собой конечный остров в бесконечном океане пространства»², однако плотность материи в пространстве в наблюдаемом масштабе равномерна.

Реализация принципа унификации: понятие силы соединяет в качественной модели категории, из которых конструируют модель мира: движение (скорость) материальной точки (вещества) в пространстве и времени относительно, в зависимости от рассматриваемой системы координат; сила, приложенная к точке, изменяет ее скорость (ускорение абсолютно). Выполняются требования объяснения и простоты, поскольку понятие через понятие силы происходит как описание, так и объяснение основных явлений механики.

Электромагнитная модель мира. Модель мира конструируют из трех независимых категорий: поле (совокупность силовых центров), пространства и времени. Атомы понимаются как точечные силовые центры, взаимодействующие через силовые поля с другими атомами. «Атомы можно представлять себе чрезвычайно упругими ... атом можно представлять себе как сферический»³. Как пишет Шредингер: «В XIX в. сплошь

¹ Планк М. Избранные труды. М.: Наука, 1975. С. 576.

² Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. М.: Наука, 1965. С. 583.

³ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству [в 3 т.]. Т.2. Л.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 402.

и рядом атомы представляли себе как центры сил, и даже действие при соприкосновении мыслилось как вырожденный случай силового закона. Казалось, что физическая модель окончательно свелась в дуалистической паре понятий: сила и вещество. На них как-то перешла часть той благоговейной важности, с которой схоластика толковала о субстанции и акциденции»¹.

Вводится понятие «поле», которое может быть описано в каждой точке времени и пространства и, таким образом, оказывается непрерывным. Поле наглядно представляется совокупностью силовых линий. Материя понимается как силовое поле, порождающее гравитационные и электромагнитные поля. «Материя будет повсюду непрерывной и, рассматривая ее массу, нам не надо предполагать различия между ее атомами и каким-то промежуточным пространством. Силы вокруг центров сообщают этим центрам свойства атомов материи; и в свою очередь эти силы, когда много центров в результате своих совместных сил собираются в массу, сообщают каждой части этой массы свойства материи»².

Полевая трактовка материи приводит к принципу близкодействия, каждая точка поля обладает величиной силы и направлением действия силы. Силовое взаимодействие осуществляется посредством физических полей. Появление посредника в передаче силы ведет к принятию того факта, что скорость передачи не бесконечна, поскольку теоретически можно проследить путь передачи силы между соседними точками. Поэтому в связи с принятием концепции близкодействия возникает идея эфира, поскольку любое близкодействие требует своего носителя, среду, между частицами которой действуют силы.

Характеристики поля – непрерывность, величина напряженности, направление силы: поля описываются как бесконечный набор векторов в каждой точке пространства. «После Максвелла физическая реальность мыслилась в виде непрерывных, не поддающихся механическому объяснению полей, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных»³. В электромагнитной картине мира происходит отождествление поля и материи. «Материя заполняет все пространство, на которое распространяется тяготение (включая солнце и его систему), ибо тяготение есть свойство материи, зависящее от некоторой силы, и именно из этой силы состоит

¹ Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976. С. 256–257.

² Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству [в 3 т.]. Т.2. С. 401.

³ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том IV. М.: Наука, 1967. С. 138.

материя. В этом смысле материя не просто взаимно проницаема, но каждый атом простирается, так сказать, на всю солнечную систему, сохраняя, однако, свой центр сил»¹.

Парадоксы модели. Во-первых, с течением развития физики эфир наделяли противоречивыми свойствами. Во-вторых, обнаружился парадокс в описании понятия «одновременность»: «попытка составить логически стройное описание оптических и электромагнитных явлений обнаружила, что наблюдатели, движущиеся относительно друг друга с большими скоростями, будут координировать события неодинаково»². В-третьих, обнаружился парадокс, связанный с принципом непрерывности электромагнитного излучения в попытках описать количественно излучение абсолютно черного тела. Следует отметить, что разрешение второго парадокса привело к созданию теории относительности, а третьего к созданию квантовой механики.

Реализация принципа унификации: понятие силы обобщается к понятию поля, которое объединяет категории, из которых конструируют модель мира. Выполняются требования объяснения и простоты, поскольку понятие через понятие поля происходит как описание, так и объяснение основных явлений электромагнетизма: все объясняют в терминах эволюции поля и взаимодействия между полями (силовыми линиями).

Модель специальной теории относительности. Модель мира можно описать посредством представления о едином пространственно-временном многообразии, в котором существует предельная скорость распространения взаимодействий. Мир «складывается из отдельных событий, каждое из которых описывается четырьмя числами, а именно: тремя пространственными координатами x , y , z и временной координатой – значением времени t . «Мир» в этом смысле является также непрерывным (континуумом)»³. Пространство-время описывается с помощью псевдоевклидовой геометрии (плоское, пустое пространство). Основные принципы – принцип относительности, близкодействия (заложены в формулах преобразования координатных систем). Основной тип взаимодействия – электромагнетизм.

Суть описания можно подвести с помощью высказывания М. Планка: «Говоря об основном содержании частной теории относительности образно в нескольких словах, его можно, по-видимому, охарактеризовать как слияние пространства и времени в одно

¹ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству [в 3 т.]. Т.2. С. 403.

² Бор Н. Избранные научные труды. Т. 2. М.: Наука, 1971. С. 483.

³ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. М.: Наука, 1965. С. 558.

единое понятие. Это слияние происходит не так, как если бы пространство и время были совершенно однородными, но примерно так, как реальное число соединяется с мнимым числом в единое понятие комплексного числа»¹.

Частнорелятивистская модель наполняет новым содержанием классическую электромагнитную картину мира. Вместе они образуют развитую модель релятивистской электродинамики. «Согласно Лоренцу, принципиально существует только поле в пустоте. Вещество, которое предполагается атомистичным, является единственным носителем зарядов; между материальными частицами находится пустое пространство — носитель электромагнитного поля, которое создается положением и скоростью точечных зарядов, сидящих на частицах... Частицы–заряды создают поле, которое в свою очередь действует на заряды частиц. Соответствующие силы обуславливают движение частиц согласно законам Ньютона. Если сравнить это с системой Ньютона, то изменение заключается в следующем: силы дальнего действия заменяются полем, описывающим также и излучение»². В этой картине мира остается нерешенным парадокс излучения абсолютного черного тела.

Категории поля и частиц снова разделились. Модель представляет собой обобщение механистической модели, которая дополняется объединенной категорией «пространство–время», что является реализацией принципа унификации. Выполняются требования простоты и математизации, поскольку понятие через понятие пространства–времени происходит объединение электрического и магнитного полей в единую математическую структуру – тензор напряженности электромагнитного поля.

После этой модели мира физическое познание идет двумя путями: первая – геометрическая (слияние категорий поля и пространства–времени); вторая – корпускулярная (сумма категорий «масса» + «взаимодействие» + «пространство–время»).

Модель мира общей теории относительности. Модель мира конструируют из двух независимых категорий: пространства–времени и материи (массы – энергии). Отметим, что модель общей теории относительности во многом перекликается как с электромагнитной, так и с частнорелятивистской моделями.

¹ Планк М. Избранные труды. М.: Наука, 1975. С. 573.

² Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том IV. М.: Наука, 1967. С. 271.

Основные законы и принципы – принцип относительности, принцип эквивалентности и закон движения. Основной тип взаимодействия – гравитация. «Дуализм (сила – вещество) уже пал благодаря эйнштейновскому закону эквивалентности... ибо сила была символом возможности передачи энергии и импульса от тела к телу, а теперь энергия–импульс уже неотличима от движущейся материи... движущийся атом не обладает энергией–импульсом, нет, он есть определенная форма энергии–импульса. Уже нет никаких следов субстанции или акциденции – первое столь же субстанциально и столь же акцидентально, как и другое. Так обобщает вопрос принцип эквивалентности»¹. Что касается пространства–времени. «Наш мир по своим геометрическим свойствам подобен поверхности, неравномерно искривленной в некоторых частях, нигде, однако, не отклоняющейся значительно от плоскости, и похож на поверхность слабо волнующегося моря. Такого рода мир можно назвать квазиэвклидовым. Он был бы пространственно бесконечным»².

Материальные точки (масса–энергия) движется в пространстве–времени по геодезическим линиям. Как пишет по этому поводу Борн: «Искривленные орбиты планет истолковываются как наипрямейшие в пространственно–временной геометрии, которая отличается от нашей школьной геометрии, геометрии Евклида. Само пространство принимается искривленным, причем его кривизна зависит от масс небесных тел»³. Распределение и движение материи (массы–энергии) искривляет пространственно–временной континуум, влияя на геодезические линии, которыми описывается тяготение. Т.е. «согласно общей теории относительности, геометрические свойства пространства не самостоятельны: они обусловлены материей»⁴. Движение тел происходит по геодезическим линиям, которые в общем случае, оказываются искривленными, под действием самих тел и другой материи. Эти искривленные геодезические описывают тяготение.

Геометризация физики происходит следующим образом: понятие «сила» (поле) заменяется понятием «искривленное пространство–время». Таким образом, «введение теории относительности в физическую картину мира означает один из важнейших шагов к ее унификации и усовершенствованию. Это видно по тем следствиям, которые

¹ Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976. С. 257.

² Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. М.: Наука, 1965. С. 587.

³ Борн М. Атомная физика. М.: Мир, 1970. С. 419.

⁴ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. М.: Наука, 1965. С. 587.

вытекают из теории относительности. Здесь прежде всего имеются в виду слияние импульса и энергии, сведение понятия массы к понятию энергии, отождествление массы инертной и массы тяготеющей, приведение закона тяготения к геометрии Римана»¹.

Говоря об общей теории относительности нельзя не затронуть космологические модели, т.е. модели появления и эволюции Вселенной. Мы приведем эталонную модель, описанную Вайнбергом. «Мы по-прежнему будем исходить из предположения об изотропности и однородности, к которому теперь еще добавим уравнения поля Эйнштейна. Это приводит к критической зависимости будущего Вселенной от ее кривизны: открытая Вселенная будет расширяться вечно, в закрытой – нынешнее расширение когда-нибудь прекратится и сменится общим сжатием. Кривизна в свою очередь критически зависит от плотности энергии в настоящий момент времени... Обращаясь к прошлому, мы обнаруживаем, что эволюция однородной изотропной Вселенной в любой модели, подчиняющейся уравнениям Эйнштейна, должна начинаться с некоторой сингулярной плотности...»². Проблемы заключаются в существовании множества космологических моделей, для подтверждения или опровержения которых на сегодняшний день не хватает данных.

Реализация принципа унификации: с помощью идеи геометризации гравитационного взаимодействия происходит отождествление категорий поля (взаимодействия) и пространства–времени. Скрепляющей модель сущностью становится искривленное пространство–время. Выполняются требования объяснения и математизации, поскольку происходит геометрическая интерпретация гравитационного взаимодействия через понятие искривленного пространства–времени.

Модель мира нерелятивистской квантовой теории. Модель мира конструируют из двух независимых категорий: вещества и пространства–времени. Категория поля объединена с категорией вещества, при этом она выражена специфической категорией поля амплитуды вероятности (информационное поле)³. Что касается категории вещества: «Оба фундаментальных понятия — частицы и их взаимодействие — при объединении оказали влияние друг на друга; если, с одной стороны, произошла атомизация взаимодействия, то, с другой стороны, частица стала полеподобным

¹ Планк М. Избранные труды. М.: Наука, 1975. С. 574.

² Вайнберг С. Гравитация и космология. М.: Мир, 1975. С. 501.

³ Мигдал А. Б. Физика и Философия // Вопросы философии. 1990. №1. С. 5.; Solov'ev E. A. Physics and Metaphysics. URL: arxiv.org/pdf/1212.1299.

образованием»¹. Что касается категории пространства–времени: «Существует пространство–время, выполняющее важнейшую функцию арены, на которой разыгрываются всевозможные физические процессы... имеются физические объекты, задействованные в этих процессах, но ограниченные точными математическими законами»².

Категория поля вероятности выражается, как правило, через понятие ψ -функции, а именно: ψ -функция «определяет состояние системы и удовлетворяет уравнению детерминистического типа, как это обычно для классической теории. Тем не менее, зная ψ , все же нельзя сделать детерминированных предсказаний о поведении «наблюдаемых» – допускаются только статистические утверждения: $|\psi|^2$ представляет собой вероятность состояния, изображаемого функцией ψ ...»³.

Среди основных принципов, во-первых, принцип дискретности (квантовый постулат). Бор характеризует его следующим образом: «Квантовая теория характеризуется признанием принципиальной ограниченности классических физических представлений в применении к атомным явлениям... каждому атомному процессу свойственна существенная прерывность»⁴.

Во-вторых, принцип неопределенностей. Гейзенберг характеризует его так: «Можно говорить лишь о том, с какой вероятностью в практических условиях эксперимента мы встретим электрон в определенной точке или установим определенную величину его скорости»⁵.

В-третьих, многообразие интерпретаций. Именно та или иная интерпретация квантовой механики может быть истолкована как вариант модели мира. Рассмотрим классическую боровскую интерпретацию. «Частица не имеет в действительности ни определенного импульса, ни определенного положения в пространстве; описание с помощью ψ -функции является в принципе полным описанием... местоположение частицы, которое я получаю в результате измерения, не может быть интерпретировано как местоположение частицы до измерения... локализация, которая обнаруживается при измерении, будет проявляться только через неизбежное... воздействие измерения.

¹ Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976. С. 258.

² Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: УРСС, 2003. С. 179.

³ Борн М. Физика в жизни моего поколения. М., 1963. С. 231.

⁴ Бор Н. Избранные научные труды. Т. 2. М.: Наука, 1971. С. 30.

⁵ Гейзенберг В. Шаги за горизонт. М.: Прогресс, 1987. С. 100.

Результат измерения зависит не только от реального положения частицы, но также и от принципиально неполного знания природы механизма измерения»¹.

В разных интерпретациях квантовой механики приобретает разное содержание принцип детерминизма: от понятия вероятностной причинности до понятия классического детерминизма.

Реализация принципа унификации заключается в постулировании двух обобщенных категорий, которые можно связать формулой: «волнообразная» частица движется на классическом пространственно–временном фоне. Эти два понятия выражают требование простоты принципа объяснения, поскольку вместо двух различных сущностей появляется одна объединенная. Первое объединение – частица и взаимодействие – от квантовой механики, второе объединение – пространства и времени – от специальной теории относительности. В этом смысле модель нерелятивистской квантовой механики наследует идеи частнорелятивистской модели.

Модель мира квантовых теорий поля (релятивистская квантовая электродинамика). Описываемая модель является дальнейшим развитием модели нерелятивистской квантовой механики, а значит, связана отношениями преемственности с механистической моделью мира.

Модель мира конструируют из трех категорий: вещество (фермионы), квантованные поля (переносчики взаимодействий – бозоны) и классический пространственно–временной фон. Взаимодействия квантованы, каждому взаимодействию соответствует частица–переносчик (за исключением гравитации). Вещество также дискретно, состоит из фермионов первого поколения. Таким образом, принимается дискретная модель реальности: точечные частицы (представляющие собой как вещество, так и поле) движутся на классическом пространственно–временном фоне. Подобная картина отличается от механистической модели наличием особых квантовых принципов, а также введением среды–переносчика взаимодействий – полей.

Основные принципы. Во–первых, принцип симметрии (каждое из взаимодействий рассматривается как нарушающее первоначальную глобальную симметрию, вследствие чего каждому из них соответствует симметрия более низкого уровня). Во–вторых, законы сохранения (существует связь «симметрия – сохранения», что позволяет каждому типу симметрии ставить в соответствие определенную сохраняющуюся

¹ Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том III. М.: Наука, 1966. С. 613.

величину (главным образом, заряды)). В-третьих, принцип квантования (частица не обладает непрерывной мировой линией, поскольку через разного рода взаимодействия, она может превратиться в другую частицу, либо распасться на некоторое число частиц). Наконец, принцип неопределенности, который наполняется новым содержанием, благодаря введению представлений о виртуальной частице.

Среди парадоксов модели отметим парадокс, который связан с принятием постулата о точечности частиц, что ведет к появлению в некоторых вычислениях бесконечностей. Однако проблема устраняется введением перенормировок.

Реализация принципа унификации: объединяющее начало модели – принцип симметрии (калибровочная инвариантность), который позволяет с единой точки зрения, а также с помощью одной математической структуры (группа Ли) рассматривать три из четырех фундаментальных взаимодействий. На этом основании можно говорить об удовлетворении требования объяснения и математизации принципа унификации. Вновь актуализируется понятие силы, однако любое взаимодействие рассматривается более сложно, с учетом существования виртуальных частиц.

Модель мира струнных теорий. Модель вводит новый фундаментальный объект, о котором уже писали выше: «В теории струн каждая частица идентифицируется как конкретная колебательная мода элементарной микроскопической струны... Так как существует всего один тип струн и все частицы возникают из колебаний струн, то, в результате, все частицы естественно включаются в одну теорию... Когда в рамках теории струн мы обсуждаем процесс распада $b \rightarrow v + g$, где элементарная частица b распадается на частицы v и g , мы представляем себе одну струну, колеблющуюся таким образом, что она сопоставляется с частицей b , и эта струна разбивается на две струны, колеблющиеся так, что они сопоставляются частицам v и g »¹. Т.е. эта модель рассматривает вместо точечной частицы фундаментальный неклассический объект – протяженную струну, вариация параметров которой сопоставляется со всеми известными частицами. Введение объединенного фундаментального неклассического объекта объединило категории вещества и поля. Однако это предположение ничего не говорит о взаимной превращаемости поля и вещества. Модель гипотетического преобразования фермионов в бозоны и наоборот названа суперсимметрией (имеет статус гипотезы).

¹ Цвибак Б. Начальный курс теории струн. М.: Едиториал УРСС, 2011. С. 29–30.

Таким образом, модель мира конструируют из материи (струны) и классического пространственно–временного фона. По поводу последнего следует заметить, что «в теории струн число пространственно–временных измерений... десять. Некоторые из этих измерений могут быть скрыты от прямого взгляда, если они свернуты в пространство столь малых размеров, что не могут быть обнаружены экспериментально при низких энергиях»¹. Цвибах пишет, что «Суперструны живут в десятимерном пространстве–времени и спектр их состояний включает как бозоны, так и фермионы... В середине 1980–х гг. было известно о существовании пяти десятимерных теорий суперструн... путем перехода к определенному пределу сильной связи в рамках одной из теорий суперструн была обнаружена новая теория. Эта теория одиннадцатимерна»².

Суть фундаментальной проблемы теории струн описана Р. Пенроузом. «Теория струн оперирует просто с гладким «классическим» фоном пространства–времени, на который присутствие струны даже не оказывает непосредственного влияния, поскольку невозбужденная струна сама по себе не переносит энергии и не приводит к «искривлению» фонового пространства–времени. Большая часть физиков, занимающихся общей теорией относительности, ожидает, что истинная «квантовая геометрия» внесет некоторые элементы дискретности или, по крайней мере, будет коренным образом отличаться от картины классического гладкого многообразия»³. Т.е. проблема связана с описанием гравитонов, которые, по теории относительности, должны быть квантами самого пространства–времени.

Реализация принципа унификации: идеи фундаментального неклассического (протяженного) объекта и принципа суперсимметрии окончательно объединяют категории вещества и поля. На этом основании можно говорить об удовлетворении требования простоты и математизации принципа унификации.

Модель мира по теории петлевой квантовой гравитации. Модель является объединением следующих идей: принципы общей теории относительности и квантовой механики, а также постулата дискретности пространства–времени. Как пишет Смолин: «Согласно теории петлевой квантовой гравитации, пространство подобно атомам: числа, получаемые при измерении объема, образуют дискретный набор, т.е. объем изменяется отдельными порциями... Иными словами, пространство не непрерывно и

¹ Там же. С. 30.

² Там же. С. 31.

³ Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 742.

состоит из определенных квантовых единиц площади и объема... Также как пространство определяется дискретной геометрией спиновой сети, время задается последовательностью отдельных шагов»¹. Основная идея теории – описание мира без использования пространственно–временного фона. «Все должно выражаться через связи между объектами, а не между объектом и некоторым фоновым пространством»².

В развитой теории основной элемент модели мира – фундаментальный неклассический объект, который имеет топологическую природу; это ленточные структуры, имеющие ту же природу, что и пространство–время (пространственно–временные волокна). Определенным конфигурациям этих объектов ставятся в соответствие известные элементарные частицы.

Для описания положения объектов и их взаимодействия вводится понятие спиновых сетей, которые описываются математической теорией графов. «Частицы, такие как электроны, соответствуют определенным узлам, снабженным дополнительными метками. Поля, такие как электромагнитное, обозначаются аналогичными маркерами на линиях графа. Движение частиц и полей в пространстве представляет собой дискретное (скачкообразное) перемещение меток по графу»³.

Таким образом, теория петлевой квантовой гравитации вводит фундаментальный неклассический протяженный объект, который объединяет в себе основные категории физики, а именно: вещество, взаимодействие и пространство–время. На этом основании можно говорить об удовлетворении требования объяснения и простоты принципа унификации. В философском плане – это продолжение программы геометризации физики, произведенное на принципиально иной основе (квантовой).

Резюме параграфа

На основании проведенного исследования мы приводим схему (Рисунок 12), отражающую преемственные связи между физическими картинами мира, а также их классификацию на геометрические и корпускулярные (по ранее выделенным подходам развития физического познания).

Физические картины мира возникают на основе синтеза физических и философских идей. Как пишет Л. Б. Баженов: «Наиболее значительные теории всегда бывают связаны с выдвижением некоторых фундаментальных идей, оказывающих

¹ Smolin L. Atoms of Space and Time // Scientific American. 2004. №23

² Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 785.

³ L. Atoms of Space and Time // Scientific American. 2004. №23.

огромное влияние на формирование стиля мышления данной эпохи»¹. Кроме того, физические картины мира соединяют качественный аспект описания и объяснения мира. М. В. Мостепаненко подчеркивает это: «главная тенденция каждой физической картины мира – дать единое стройное отражение объективной действительности»².

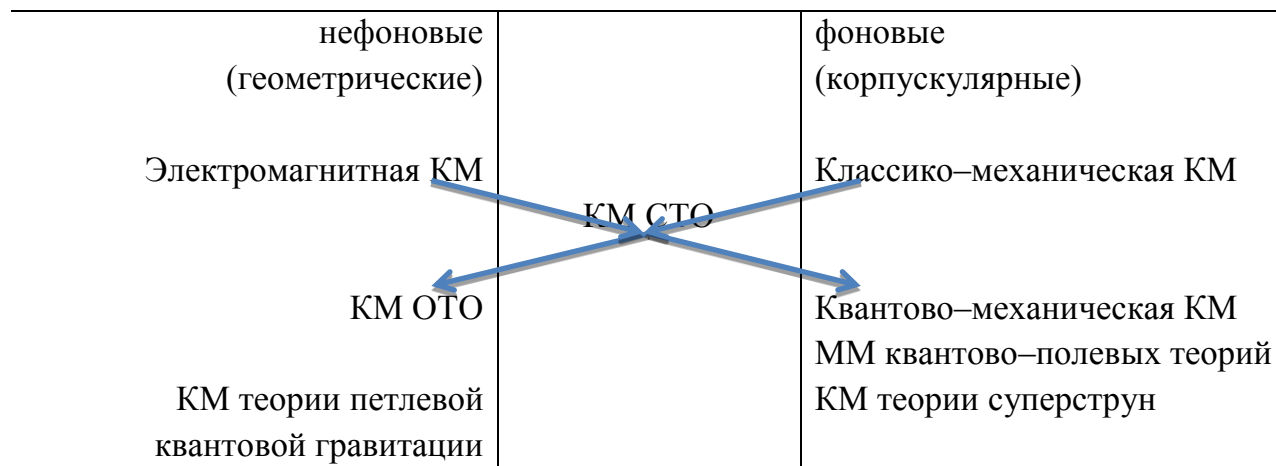


Рисунок 12 – Основные физические модели мира и преемственность между ними

Таким образом, принцип унификации знания реализуется на философском уровне физического познания в виде физической картины мира (являющейся посредником между философией и физической теорией), в рамках которой существует интегральная теория, на данный момент развития физики, которая экстраполирует свои методы на явления природы и стремится построить всю конструкцию физического познания средствами единой систематики.

¹ Баженов Л. Б. Структура и функции естественнонаучной теории. С. 178.

² Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. Л.: Наука, 1969.

3.5 Выводы по главе

Во-первых, на основе анализа моделей эволюции физики мы можем выделить две главные идеи в развитии физического познания, а именно: идею симметрии и идею геометризации взаимодействий, поскольку именно с их помощью происходили попытки построения объединенных теорий взаимодействий.

Показано, что физическое познание развивается нелинейно в рамках взаимодействия метафизических программ. В развитии современной физики происходит экстраполяция на новые области исследования двух программ, первая из которых основана на общей теории относительности (геометрическая полевая программа), а вторая – на квантовой механике (квантово-релятивистская программа). Обе программы определяются путем введения в физическую теорию на фундаментальном уровне неклассических объектов. Суть заключается в том, что любое изменение определенных параметров или конфигурации неклассического объекта позволяет интерпретировать его как известные элементарные частицы. Разница программ – в типе объекта. В первой программе вводятся лентообразные пространственно–временные волокна (теория петлевой квантовой гравитации), состоящие из той же сущности, что и пространство–время. Во второй программе, например, в представляющей ее теории струн, каждая частица сопоставляется определенной колебательной моде элементарной микроскопической струны и поскольку существует один тип струн, постольку все частицы возникают из их колебаний. В этой программе можно выделить исключительно простую теорию всего, которая постулирует, во–первых, классические частицы, во–вторых, первоначальную глобальную симметрию.

Во-вторых, на основании анализа гипотетических теорий объединения мы составили сравнительную Таблицу 19, отражающую выполнение методологических требований и установок принципа унификации знания.

Рассмотренные теории можно классифицировать по двум выше определенным подходам (геометрический и калибровочный) и оба подхода (теория струн и теория петлевой квантовой гравитации) вводят единый неклассический объект и предполагают его реально существующим, постольку мы можем назвать этот подход редукционизмом.

Сравнивая эти теории, можно говорить о степени фундаментальности неклассического объекта и, соответственно, о степени проявления редукционизма в теории. Теория петлевой квантовой гравитации, если сравнивать ее с теорией струн достигает более сильного объединения, поскольку и кванты пространства-времени и кванты бозонов и фермионов возникают из единого объекта. Следует сказать отдельно об исключительно простой теории всего, подход которой может быть назван слабым редукционизмом, поскольку здесь нет единого фундаментального объекта, но есть единая математическая структура. Следует понимать, что в ходе развития теорий понимание возможности единства может в корне изменяться.

На основании исследования гипотетических теорий объединения мы предложили список наиболее общих методологических установок, которые должны быть присущи теории всего:

- преемственность (возможность предельного перехода к квантовой механике и общей теории относительности);
- обобщенный закон сохранения и существование некоторой группы симметрии;
- единство фундаментальных постоянных (для объединения взаимодействий);
- единая математическая структура или неклассический фундаментальный объект.

Исследование и оценка существующих гипотетических концепций объединения всех взаимодействий (теория суперструн, теория петлевой квантовой гравитации) показали, что на сегодняшний день ни одна из них не удовлетворяет в полной мере всем перечисленным критериям. Так, в теории струн нет обобщенного закона сохранения и обобщенной математической структуры. Суперструну интерпретируют в категориях частицы и поля, при этом она существует в статическом пространстве-времени, что является концептуальным затруднением теории. В теории петлевой квантовой гравитации нет обобщенного закона сохранения. Пространственные волокна этой теории интерпретируют как кванты пространства-времени, полей и частицы, что позволяет обойти затруднение теории суперструн.

В-третьих, эволюция категорий физики отражает реализацию принципа унификации. На основании исследования основных физических категорий мы заключили, что в физических теориях происходит синтез (обобщение) категории «пространство–время» от ранних теорий к поздним, вследствие чего возникает

преемственность между ними. С ретроспективной точки зрения между теориями действуют отношения редукции по указанной категории. В физических теориях происходит синтез (обобщение) категории «взаимодействие» от ранних теорий к поздним, вследствие чего возникает преемственность между ними. С ретроспективной точки зрения между теориями действуют отношения редукции по указанной категории. Указанные категории взаимосвязаны. Изменение одной из них приводит к изменению другой.

В-четвертых, мы показали, что реализацией принципа унификации на философском уровне физического познания можно считать физические модели мира. Кроме того, на Рисунке 12 отражена преемственность физических моделей мира. Рисунок указывает на существование тех же двух подходов к единству знания, однако, теперь – с точки зрения философского уровня физического познания.

Принцип унификации знания реализуется на философском уровне физического познания в виде физической картины мира (являющейся посредником между философией и физической теорией), в рамках которой существует интегральная теория, на данный момент развития физики, которая экстраполирует свои методы на явления природы и стремится построить всю конструкцию физического познания средствами единой систематики.

Заключение

Исследования, выполненные в диссертационной работе, посвящены задачам выявления философско-методологических оснований тенденции к унификации физических теорий (в физическом познании). Общая задача заключалась в том, чтобы выявить содержание и способы реализации принципа унификации в теориях фундаментальной физики.

Перечислим общие итоги исследования.

1. Предложены определения принципа унификации в разных аспектах.

- Структурный аспект. Принцип унификации основан на принципах всеобщей взаимосвязи, объяснения, простоты, математизации, сохранения. Он отражает стремление к единой теории, которое основано либо на общности математического языка описания реальности, либо на возможности формулировать физические теории, используя минимальный набор физических и философских принципов. Эти два аспекта (математизация и простота) находят отражение в принципе объяснения: дополнительность качественного (физическая картина мира) и количественного (математическая интерпретация) описания.
- Функциональный аспект. Принцип унификации отражает взаимосвязь процессов редукции и синтеза физических, математических, философских элементов внутри одной физической теории, тех же элементов между физическими теориями, а также самих физических теорий в истории физического познания.
- Аксиологический аспект. Принцип унификации играет аксиологическую роль посредством задания приоритетных направлений исследования, формирования программы поиска, постановки целей и формирования ценностей научного познания, а также задания и поддержания идеалов и норм исследования. Принцип унификации – это качественно и количественно мыслимый идеал единства научного знания.

2. Установлены способы реализации принципа унификации в физических теориях (физическом познании).

На уровне физических теорий унификация реализуется, во-первых, в виде редукции существующих физических теорий к общему основанию (наиболее перспективной теории). Например, сведение теории оптических явлений к теории

электромагнитных явлений. Во-вторых, в виде синтеза физических теорий. Например, объединение специальной теории относительности и электродинамики в релятивистскую электродинамику. В-третьих, в виде обобщения физических принципов или математического аппарата физической теории. Например, обобщение математического (евклидова) пространства классической механики на математическое пространство теории относительности (псевдоевклидово в специальной теории относительности и риманово в общей теории относительности).

На философском уровне познания унификация реализуется в формировании физических картин мира. Картины мира основаны на концептуальном ядре фундаментальных физических теорий, которые экстраполируют свои методы на уже существующие теории и на исследования новых областей.

3. В результате анализа исторического развития и современного состояния основных областей теоретической физики показана конструктивная и регулятивная роль принципа унификации в возникновении и развитии основных научных теорий XIX и XX веков. Выявлены основания, регулятивы и функции принципа унификации, который может рассматриваться как методологическая основа формирования и развития теории классической и неклассической физики.

4. Подытожим исторический обзор, указав превалирующую функцию принципа унификации в формировании вышеизложенных физических теорий.

Классическая механика характеризуется синтезом физики (физических законов) и геометрии (события происходят в евклидовом пространстве), поэтому здесь реализуется синтетическая функция принципа унификации.

Аналитическая механика связана с обобщением классической механики за счет введения таких понятий как обобщенная координата, конфигурационное пространство, действие, поэтому здесь реализуется функция обобщения принципа унификации.

Теория электромагнетизма отождествляет электрические, магнитные и световые явления, поэтому здесь реализуется редукционистская функция принципа унификации.

Специальная и общая теория относительности показывает все функции принципа унификации. Редукционистская функция (принцип эквивалентности отождествил гравитационную и инертную массы); синтетическая функция (объединение категорий пространства–времени и материи); функция обобщения (обобщение принципа относительности Галилея).

Квантовая механика основана на объединении оптического и механического вариационного принципов, которое позволило получить представление о корпускулярно–волновом дуализме, поэтому здесь в большей степени реализуется редукционистская функция принципа унификации.

Квантово-механические теории поля представлены большим количеством примеров реализации синтетической функции принципа унификации.

5. Установлены способы достижения унификации знания в физических теориях.

I. Математизация.

а) Объединение через математический формализм (например, обобщение алгебраических объектов от скаляра до тензора; тензорный формализм окончательно объединяет электричество и магнетизм);

б) Объединение через концептуальные структуры (например, объединение пространств физических теорий от евклидова пространства до пространства Гильберта);

II. Простота.

с) Объединение через постулирование единой сущности (суперструны, инстантоны).

д) Объединение через обобщение физических принципов (например, обобщение принципа относительности от Галилея до Эйнштейна);

III. Преимущество.

е) Объединение через аналогию – преимущество (например, теория Максвелла строится на гидродинамических аналогиях, а теория Эйнштейна опирается на формулы электромагнетизма Максвелла);

ф) Объединение через вывод физических констант (например, постоянная скорости света включает в себя относительные магнитные и электрические проницаемости, т.е. объединяет электричество и магнетизм).

IV. Сохранение.

г) Объединение через объединение частных законов сохранения (например, формула Эйнштейна для энергии является объединением двух законов сохранения классической физики – закона сохранения энергии и закона сохранения массы).

6. Сформулированы операционалистские требования к унификации физических теорий: а) наличие обобщенной математической структуры; б) наличие фундаментального объекта, описывающего такие физические категории как пространство-время, частица, поле; в) в предельных случаях теория должна приводить к

квантовой теории поля и общей теории относительности; г) наличие общего закона сохранения; д) схождение к одному числу фундаментальных параметров взаимодействия.

7. Исследование и оценка существующих гипотетических концепций объединения всех взаимодействий (теория суперструн, теория петлевой квантовой гравитации) показали, что на сегодняшний день ни одна из них не удовлетворяет в полной мере всем перечисленным критериям. Так, в теории струн нет обобщенного закона сохранения и обобщенной математической структуры. Суперструну интерпретируют в категориях частицы и поля, при этом она существует в статическом пространстве-времени, что является концептуальным затруднением теории. В теории петлевой квантовой гравитации нет обобщенного закона сохранения. Пространственные волокна этой теории интерпретируют как кванты пространства-времени, полей и частицы, что позволяет обойти затруднение теории суперструн.

8. Показано, что физическое познание развивается нелинейно в рамках взаимодействия метафизических программ. В развитии современной физики происходит экстраполяция на новые области исследования двух программ, первая из которых основана на общей теории относительности (геометрическая полевая программа), а вторая – на квантовой механике (квантово-релятивистская программа). Обе программы классифицируются как редукционистские, поскольку в них постулируются физические объекты, которые могут быть описаны в таких категориях как пространство-время, частица, поле.

9. Подчеркнем возможность создания теории всего и единой модели мира. Б. Грин заметил, что «у нас есть одна Вселенная, и поэтому многие совершенно уверены, что мы должны иметь одну теорию»¹. Описание Вселенной на теоретическом языке физики принципиально модельно, и мы, в лучшем случае, познаем объективный мир опосредованно через математические конструкции, которые в основе своей имеют определенный набор аксиом, опосредующих то или иное мировидение и, в конечном счете, то или иное миропонимание. Таким образом, при констатации существования единого мира, также возможна констатация того, что воспринимаем мы его по-разному, в зависимости от лежащих в основе метафизических положений. Об объединенной

¹ Грин Б. Ткань космоса: Пространство, время и текстура реальности. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. С. 342.

теории надо говорить, не забывая вышеупомянутое. Единая теория может пониматься двояко: во-первых, как теория, объединяющая все известные на данный момент физические теории, т.е. имеющая их своим предельным случаем; во-вторых, как теория, не имеющая границ применимости. Единая теория первого типа возможна, в то время как о единой теории второго типа вряд ли можно сказать что-то определенное на данном этапе развития научного познания. Границы применимости всегда оказываются маркером предельного перехода от широкой теории к частной. Это означает, что унифицированная теория возможна скорее как исторический этап в процессе развития физического познания. Она возможна также в силу унификации существующих метафизических оснований науки, которые подвержены историческому изменению ввиду непрерывного развития физического познания.

10. Таким образом, тенденция унификации физических теорий влияет на законы и представления о мире потому, что «более развитая (обобщенная – Е. А.) теория, заключающая в себе более конкретное понимание, оказывается тем самым и более общей – понимание явственно эволюционирует в направлении все более охватывающего (общего) и в то же время все более конкретного отражения одного и того же объекта, в направлении конкретно–всеобщего понимания»¹.

¹ Ильенков Э. В. Диалектическая логика: Очерки истории и теории. М.: Политиздат, 1984.

Список литературы

Монографии

1. Айзерман М. А. Классическая механика. / М. А. Айзерман. – М.: Физматлит, 1980. – 378 с.
2. Акчурин И. А. Единство естественнонаучного знания. / И. А. Акчурин. – М.: Наука, 1974. – 207 с.
3. Аристотель Сочинения: В 4-х томах. Т. 4. / Аристотель. – М.: Мысль, 1984. – 830 с.
4. Ахундов М. Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюция, перспективы. / М. Д. Ахундов. – М.: Наука, 1982. – 223 с.
5. Баженов Л. Б. Строение и функции естественнонаучной теории. / Л. Б. Баженов. – М.: Наука, 1978. – 231 с.
6. Бом Д. Причинность и случайность в современной физике. / Д. Бом. – М.: Изд. иностр. лит., 1959. – 248 с.
7. Бом Д. Специальная теория относительности. / Д. Бом. – М.: Мир, 1967. – 285 с.
8. Бор Н. Избранные научные труды. Т. 2: Статьи. / Н. Бор. – М.: Наука, 1971. – 674 с.
9. Борн М. Атомная физика. / М. Борн. – М.: Мир, 1970. – 484 с.
10. Борн М. Физика в жизни моего поколения. / М. Борн. – М.: Изд-во Иностранной Литературы, 1969.
11. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. / М. Борн. – М.: Мир, 1964. – 452 с.
12. Бранский В. П. Философские основания проблема синтеза релятивистских и квантовых принципов. / В. П. Бранский. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. – 175 с.
13. Бранский В. П. Философское значение проблемы «наглядности» в современной физике. / В. П. Бранский. – Изд-во ЛГУ, 1962. – 192 с.
14. Бройль Л. Революция в физике. / Л. Бройль. – М.: Атомиздат, 1965. – 234 с.
15. Бунге М. Философия физики. / М. Бунге. – М.: Прогресс, 1975. – 349 с.
16. Бургин М. С., Кузнецов В. И. Аксиологические аспекты научных теорий. / М. С. Бургин, В. И. Кузнецов. – Киев, Наукова думка, 1991. – 184 с.
17. Вайнберг С. Гравитация и космология. / С. Вайнберг. – М.: Мир, 1975. – 696 с.

18. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. / С. Вайнберг. – М.: Едиториал УРСС 2004. – 256 с.
19. Веселовский И. Н. Очерки по истории теоретической механики. / И. Н. Веселовский. – М.: «Высшая школа», 1974. – 285 с.
20. Вигнер Ю. Этюды о симметрии. / Ю. Вигнер. – М.: Мир, 1971. – 318 с.
21. Визгин В. П. Единые теории поля в первой трети XX века. / В. П. Визгин. – М.: Наука, 1985. – 302 с.
22. Визгин В. П. Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике. / В. П. Визгин. – М.: Наука, 1972. – 238 с.
23. Визгин В. П. Релятивистская теория тяготения. / В. П. Визгин. – М.: Наука, 1981. – 349 с.
24. Владимиров Ю. С. Метафизика. / Ю. С. Владимиров. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002. – 550 с.
25. Гааз. А. Э. Волны материи и квантовая механика. / А. Э. Гааз. – М.;Л.: Гостехиздат, 1933. – 166 с.
26. Гайденок П. П. Эволюция понятия науки: Становление и развитие первых научных программ. / П. П. Гайденок. – М.: Наука, 1980. – 566 с.
27. Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира птолемеевой и коперниковой. / Г. Галилей. – М.–Л.: Гостехиздат, 1948. – 380 с.
28. Гейзенберг В. Шаги за горизонт. / В. Гейзенберг. – М.: Прогресс, 1987. – 368 с.
29. Гемпель К. Г. Логика объяснения. / К. Г. Гемпель. – М.: Дом интеллектуал, 1998. – 237 с.
30. Герц Г. Принципы механики, изложенные в новой связи. / Г. Герц. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1959. – 386 с.
31. Гершанский В. Ф. Философские основания теоретической физики. / В. Ф. Гершанский. – СПб., 2002. – 81 с.
32. Голдстейн Г. Классическая механика. / Г. Голдстейн. – М.: Гл. редакция физ–мат. лит–ры из–ва «Наука», 1975. – 415 с.
33. Головкин Н. В. Картина мира и методологический реализм: теоретические и операциональные ограничения в эпистемологии науки. / Н. В. Головкин. – Новосибирск, 2007. – 316 с.

34. Головкин Н. В. Философские представления о пространстве и времени. Концептуальное пространство–время и реальность. / Н. В. Головкин. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун–т., 2006. – 226 с.
35. Горский Д. П. Вопросы абстракции и образования понятий. / Д. П. Горский. – Изд–во Академии наук СССР, 1961. – 350 с.
36. Готт В. С. Философские проблемы современной физики. / В. С. Готт. – М.: Высш. шк., 1988. – 343 с.
37. Грибанов Д. П. Материальное единство мира в свете современной физики. / Д. П. Грибанов. – М.: Мысль, 1971. – 141 с.
38. Грибанов Д. П. Философские основания теории относительности. / Д. П. Грибанов. – М.: Наука, 1982. – 220 с.
39. Грин Б. Ткань космоса: Пространство, время и текстура реальности. / Б. Грин. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 608 с.
40. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. / Б. Грин. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.
41. Грязнов Б. С. Теория и ее объект. / Б. С. Грязнов. – Москва: Наука, 1973. — 248 с.
42. Давыдов А. С., Кухтенко А. И. Методологический анализ физического познания. / А. С. Давыдов, А. И. Кухтенко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 279 с.
43. Декарт Р. Сочинения: В 2–х т. / Р. Декарт. – М.: Мысль, 1989. – 656 с.
44. Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике. / М. Джеммер. – М.: Прогресс, 1967. – 255 с.
45. Дирак П. Принципы квантовой механики. / П. Дирак. – М.: Наука, 1979. – 480 с.
46. Дирак П. Собрание научных трудов: Т. 1, Квантовая теория (монографии, лекции). / П. Дирак. – М.: Физматлит, 2002. – 698 с.
47. Добронравов В. В. Основы аналитической механики. / В. В. Добронравов. – М.: Высшая школа, 1976. – 262 с.
48. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. – М.: НАУКА, 1974. – 350 с.
49. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX вв. / Я. Г. Дорфман. – Москва: Наука, 1979. – 315 с.
50. Дуков В. М. Электродинамика (история и методология макроскопической электродинамики). / В. М. Дуков. – М.: Высш. школа, 1975. – 247 с.

51. Дэвис П. Суперсила. / П. Дэвис. – М.: Мир, 1989. – 272 с.
52. Дюгем П. Физическая теория. / П. Дюгем. – М.: КомКнига, 2007. – 328 с.
53. Единство естественнонаучного знания. – М.: Наука, 1974. – 206 с.
54. Единство научного знания. – М.: Наука, 1988. – 336 с.
55. Зельдович Я. Б. Теория тяготения и эволюция звезд. / Я. Б. Зельдович, И. Б. Новиков. – М.: Наука, 1971. – 484 с.
56. Зельдович Я. Б. Драма идей в познании природы. / Я. Б. Зельдович, М. Ю. Хлопов. – М.: НАУКА, 1988. – 238 с.
57. Зи Э. Квантовая теория поля в двух словах. / Э. Зи. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – 632 с.
58. Иванова Р. И. Реализация методологической функции философии в научном познании и практике. / Р. И. Иванова, А. Л. Симанов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 205 с.
59. Ильенков Э. В. Диалектическая логика: Очерки истории и теории. / Э. В. Ильенков. – М.: Политиздат, 1984. – 320 с.
60. Кант И. Критика чистого разума. / И. Кант. – Москва: Эксмо, 2010. – 734.
61. Карпович В. Н. Проблема, гипотеза, закон. / В. Н. Карпович. – Новосибирск: Наука, 1980. – 176 с.
62. Карпович В. Н. Системность научного знания. / В. Н. Карпович. – Новосибирск: Наука, 1984. – 123 с.
63. Карпович В. Н. Диалектика содержания и формы в процессе математизации науки. / В. Н. Карпович, Т. М. Бондаренко. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд–ние, 1990. – 175 с.
64. Карцев В. П. Максвелл. / В. П. Карцев. – М.: Молодая гвардия, 1974. – 336 с.
65. Кемпфер Ф. А. Основные положения квантовой механики. / Ф. А. Кемпфер. – М.: Мир, 1967. – 391 с.
66. Киттель Ч. Механика / Ч. Киттель // Берклевский курс физики. – Москва: Наука, 1983. – 446 с.
67. Клайн М. Математика. Поиск истины. / М. Клайн. – М.: Мир, 1988. – 295 с.
68. Компанеец А. С. Может ли окончиться физическая наука. / А. С. Компанеец. – М.: Знание, 1967.

69. Коноплева Н. П. Калибровочные поля. / Н. П. Коноплева, В. Н. Попов. – М.: Атомиздат, 1980. – 240 с.
70. Кудрявцев П. С. История физики [в 3 т.]. Т.1. / П. С. Кудрявцев. – М.: Учпедгиз, 1948. – 535 с.
71. Кудрявцев П. С. История физики [в 3 т.]. Т.2. / П. С. Кудрявцев. – М.: Учпедгиз, 1956. – 487 с.
72. Кузнецов Б. Г. Основы теории относительности и квантовой механики. / Б. Г. Кузнецов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 326 с.
73. Кузнецов Б. Г. Принципы классической физики. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1958. – 322 с.
74. Кузнецов Б. Г. Пути физической мысли. / Б. Г. Кузнецов. – М.: Наука, 1968. – 347 с.
75. Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. / Б. Г. Кузнецов. – М.: НАУКА, 1966. – 517 с.
76. Кузнецов И. В. Избранные труды по методологии физики. / Б. Г. Кузнецов. – М.: Наука, 1975. – 295 с.
77. Кун Т. Структура научных революций (Сборник). / Т. Кун. – М.: АСТ, 2003. – 605.
78. Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ. / И. Лакатос // Структура научных революций. – М.: АСТ, 2003. – 605 с.
79. Ландау Л. Д. Механика. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
80. Ландау Л. Д. Теория поля. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 509 с.
81. Ланцош К. Вариационные принципы механики. / К. Ланцош. – М.: Мир, 1965. – 408 с.
82. Ленин В. И. Полное собрание сочинений. В 55 т. Т.18: Материализм и эмпириокритицизм. / В. И. Ленин. – М.: Политиздат, 1973. – 525 с.
83. Лукашевич В. К. Научный метод: Структура, обоснование, развитие. / В. К. Лукашевич. – Мн.: Навука і тэхніка, 1991. – 207 с.
84. Льюис М. История физики. / М. Льюис. – М.: МИР, 1970. – 463 с.
85. Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. / Дж. К. Максвелл. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 685 с.

86. Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. [в 2 т.] Т.1. / Дж. К. Максвелл. – М.: Наука, 1989.
87. Мамчур Е. А. Отечественная философия науки: предварительные итоги. / Е. А. Мамчур, Н. Ф. Овчинников, А. П. Огурцов. – М.: Российская политическая энциклопедия, 1997. – 360 с.
88. Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. / Л. И. Мандельштам. — М.: Наука, 1972. – 437 с.
89. Марков М. А. О трех интерпретациях квантовой механики. / М. А. Марков. – М.: Наука, 1991. – 112 с.
90. Материалистическая диалектика и методы естественных наук. – М.: НАУКА, 1968. – 607 с.
91. Мах Э. Механика. Историко–критический очерк ее развития. / Э. Мах. – Ижевск, 2000. – 448 с.
92. Меркулов И. П. Гипотетико–дедуктивная модель и развитие научного знания. / И. П. Меркулов. – М.: Наука, 1980. – 187 с.
93. Мессиа А. Квантовая механика. Т.1. / А. Мессиа. – М.: Наука, 1978. – 478 с.
94. Методологические принципы физики. – М.: Наука, 1975. – 511 с.
95. Методологический анализ физического познания. – Киев: Наукова думка, 1985. – 279 с.
96. Методология в сфере теории и практики.– Новосибирск: Наука, 1988.— 305 с.
97. Методы научного познания и физика. – М.: Наука, 1985. – 351 с.
98. Морозов Н. А. Повести моей жизни. [в 3 т.] Т.3. / Н. А. Морозов. – М.: АН СССР, 1947.
99. Мостепаненко А. М. Методологические и философские проблемы современной физики. / А. М. Мостепаненко. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1977. – 167 с.
100. Мостепаненко А. М. Пространство и время в макро–, мега– и микромире. / А. М. Мостепаненко. – М.: Политиздат, 1974. – 239 с.
101. Мостепаненко М. В. Философия и методы научного познания. / А. М. Мостепаненко. – Л.: ЛЕНИЗДАТ, 1972. – 262 с.
102. Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. / А. М. Мостепаненко. – Л.: Наука, 1969. – 238 с.

103. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. / И. Ньютон. – М.: Наука, 1989. – 687 с.
104. Овчинников Н. Ф. Принципы сохранения. / Н. Ф. Овчинников. – М.: Наука, 1966. – 328 с.
105. Овчинников Н. Ф. Принципы теоретизации знания. / Н. Ф. Овчинников. – М., 1996. – 214 с.
106. Овчинников Н. Ф. Тенденция к единству науки. / Н. Ф. Овчинников. – М.: Наука, 1988. – 268 с.
107. Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. / Л. Б. Окунь. – М.: Наука, 1988. – 272 с.
108. Ольсон Г. Динамические аналогии. / Г. Ольсон. – М.: Изд. иностр. лит., 1947. – 224 с.
109. Очерки развития основных физических идей. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. – 510 с.
110. Пассмор Дж. Сто лет философии. / Дж. Пассмор. – М.: Прогресс–Традиция, 1998. – 494 с.
111. Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики. / Р. Пенроуз. – М.: УРСС, 2003. – 382 с.
112. Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. / Р. Пенроуз. – М.–Ижевск: ИКИ, НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2007. – 912 с.
113. Пенроуз Р. Структура пространства–времени. / Р. Пенроуз. – М.: Мир, 1972. – 521 с.
114. Печенкин А. А. Обоснование научной теории: классика и современность. / А. А. Печенкин. – М.: Наука, 1991. – 184 с.
115. Планк М. Единство физической картины мира. / М. Планк. – М.: Наука, 1966. – 285 с.
116. Платон Собрание сочинений. В 4 т. Т. 2. / Платон. – М.: Мысль, 1993. – 528 с.
117. Полак Л. С. Вариационные принципы механики. / Л. С. Полак. – М.: Физматгиз, 1960. – 599 с.
118. Принцип относительности. – М.: Атомиздат, 1973. – 332 с.
119. Принцип симметрии (историко–методологические проблемы). М.: Наука, 1978. – 396 с.

120. Природа научного открытия. – М.: НАУКА, 1986. – 303 с.
121. Природа научного познания: Логико–методологический аспект. – Минск: Изд–во ЛГУ, 1979. – 272 с.
122. Проблема причинности в современной физике. – М.: Изд–во Академии наук СССР, 1960. – 428 с.
123. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ. / П. К. Рашевский. – М.: Наука, 1967. – 664 с.
124. Рейхенбах Г. Философия пространства и времени. / Г. Рейхенбах. – М.: Наука, 1985. – 344 с.
125. Риман Б. О гипотезах, лежащих в основе геометрии. / Б. Риман // Об основаниях геометрии. — М., 1956. – 527 с.
126. Розенталь И. Л. Геометрия, динамика, Вселенная. / И. Л. Розенталь. – М.: Наука, 1987. – 143 с.
127. Розенфельд Б. А. История неевклидовой геометрии. / Б. А. Розенфельд. – М.: Наука, 1976. – 408 с.
128. Рузавин Г. И. Философские проблемы оснований математики. / Г. И. Рузавин. – М.: Наука, 1983. – 302 с.
129. Лебедев С. А. Философия науки: Терминологический словарь. / С. А. Лебедев. – М.: Академический Проект, 2011. – 320 с.
130. Савельев И. В. Курс общей физики. В 5 кн. Кн. 1. Механика. / И. В. Савельев. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 336 с.
131. Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. / А. Садбери. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
132. Севальников А. Ю. Интерпретации квантовой механики. В поисках новой онтологии. / А. Ю. Севальников. – М.: Либроком, 2009. – 192 с.
133. Симанов А. Л. Методологическая функция философии и научная теория. / А. Л. Симанов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 235 с.
134. Симанов А. Л. Понятие «состояние» как философская категория. / А. Л. Симанов. – Новосибирск: Наука, 1982. – 124 с.
135. Симанов А. Л. Методологические принципы физики: общее и особенное. / А. Л. Симанов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд–ие, 1992. – 222 с.
136. Синтез современного научного знания. – М.: НАУКА, 1973. – 639 с.

137. Спасский Б. И. История физики. Ч. 1. / Б. И. Спасский. – М.: «Высш. школа», 1977. – 320 с.
138. Спасский Б. И. История физики. Ч. 2. / Б. И. Спасский. – М.: «Высш. школа», 1977. – 309 с.
139. Спиридонов О. П. Фундаментальные физические постоянные. / О. П. Спиридонов. – М.: Высш. шк., 1991. – 238 с.
140. Степин В. С. Теоретическое знание. / В. С. Степин. – М.: Прогресс–Традиция, 2000. – 744 с.
141. Сторожук А. Ю. Пределы науки. / А. Ю. Сторожук. – Новосибирск, 2005. – 240 с.
142. Тирринг В. Е. Принципы квантовой электродинамики. / В. Е. Тирринг. – М.: Высшая школа, 1964. – 226 с.
143. Толмен Р. Относительность, термодинамика, космология. / Р. Толмен. – М.: Наука, 1974. – 521 с.
144. Томилин К. А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. – / К. А. Томилин. – М.: Физматлит, 2006. – 368 с.
145. Тюлина И. А. История и методология механики. / И. А. Тюлина. – М.: Издательство Московского университета, 1979. – 281 с.
146. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству [в 3 т.]. Т.3 / М. Фарадей. – Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 831 с.
147. Фейнман Р. КЭД–странная теория света и вещества. / Р. Фейнман. – М.: Наука, 1988. – 139 с.
148. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М.Сэндс. – М.: Мир, 1967.
149. Фейнман Р. Квантовая механика и интегралы по траекториям. / Р. Фейнман. – М.: Мир, 1968. – 382 с.
150. Фейнман Р. Характер физических законов. / Р. Фейнман. – М.: Мир, 1968. – 231 с.
151. Физическая теория (философско–методологический анализ). – М.: НАУКА, 1980. – 462 с.
152. Философия, методология, наука. – М.: Наука, 1972. – 235 с.
153. Философские основания естественных наук. – М.: НАУКА, 1976. – 383 с.

154. Фок В. А. Начала квантовой механики. / В. А. Фок. – М.: Наука, 1976. – 376 с.
155. Хантли Г. Анализ размерностей. / Г. Хантли. – М.: Мир, 1970. – 173 с.
156. Хелзен Ф. Кварки и лептоны: Введение в физику элементарных частиц. / Ф. Хелзен. – Новокузнецк: Новокузнец. физ–мат ин–т., 2000. – 455 с.
157. Хокинг С. Природа пространства и времени. / С.Хокинг, Р. Пенроуз. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 160 с.
158. Хюбнер К. Критика научного разума. / К. Хюбнер. – М.: ИФРАН, 1994. – 326 с.
159. Цвибах Б. Начальный курс теории струн. / Б. Цвибах. – М.: Едиториал УРСС, 2011. – 784 с.
160. Чанышев А. Н. Курс лекций по древней философии. / А. Н. Чанышев. – М.: Высшая школа, 1981. – 373 с.
161. Черняк В. С. История. Логика. Наука. / В. С. Черняк. – НАУКА, 1986. – 371 с.
162. Чудинов Э. М. Природа научной истины. / Э. М. Чудинов. – М.: Политиздат, 1977. – 312 с.
163. Швырев В. С. Теоретическое и эмпирическое в научном познании. / В. С. Швырев. – М.: НАУКА, 1978. – 379 с.
164. Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. / Э. Шредингер. – М.: Наука, 1976. – 424 с.
165. Эддингтон А. Пространство, время и тяготение. / А. Эддингтон. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 216 с.
166. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том I. / А. Эйнштейн. – М.: Наука, 1967. – 598 с.
167. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том IV. / А. Эйнштейн. – М.: Наука, 1967. – 564 с.
168. Эйнштейн А. Физика и реальность. / А. Эйнштейн. – М.: НАУКА, 1965. – 234 с.
169. Эйнштейн А. Эволюция физики. / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. – М.: Наука, 1965. – 326 с.

Статьи

170. Акчурин И. А. Симметрия как принцип динамической унификации физики // Принцип симметрии. – М.: Наука, 1978. – С. 122–141.

171. Алексеев И. С. Структура механики Ньютона // Системный анализ и научное знание. – М.: НАУКА, 1978. – С. 229–245.
172. Баженов Л. Б. Методологические регулятивы науки // Философия науки. – М.: ЭКСМО, 2007.
173. Баженов Л. Б. Строение и функции естественнонаучной теории // Синтез современного научного знания. – М.: Наука, 1973.
174. Барбашов, Б. М., Нестеренко, В. В. Суперструны — новый подход к единой теории фундаментальных взаимодействий // Успехи физических наук. – 1986. – № 4 (150). – С. 489–524.
175. Бергман П. Единые теории поля // Успехи физических наук. – 1980. – № 1. – С. 177–190.
176. Бернштейн Г. Расслоения и квантовая теория // Успехи физических наук. – 1982. – № 4. – С. 665–692.
177. Вайнберг С. Единые теории взаимодействия элементарных частиц // Успехи физических наук. – 1976. – № 3. – С. 505–521.
178. Вайнберг С. Идейные основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий // Успехи физических наук. – 1980. – № 2. – С. 201–217.
179. Вайскопф В. Физика в 20 веке // Успехи физических наук. – 1970. – № 4. – С. 60–62.
180. Вигнер Ю. Нарушение симметрии в физике // Успехи физических наук. – 1966. – № 3. – С. 729–739.
181. Вигнер Ю. Симметрия и законы сохранения // Успехи физических наук. – 1964. – № 4. – С. 729–739.
182. Визгин В.П. Математика в квантово–релятивистской революции // Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XX в. М.: «Янус–К», 1997. С. 7–30.
183. Власов Д. Ю. Логико–эмпирические основания математики // Философия науки. – 2012. – №4. – С. 68–84.
184. Гелл–Манн М. Элементарные частицы // Успехи физических наук. – 1958. – №2. – С. 391–416.
185. Гильберт Д. Математические проблемы // Проблемы Гильберта. – М.: Наука, 1969. С. 34–35.

186. Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века? // В. Л. Гинзбург. О науке, о себе и о других: статьи и выступления. – М.: Физматлит, 2003.
187. Горелик Г. Е. $cxGxh=?$ // Знание–сила. – 1988. – № 2. – С. 21–27.
188. Грин Х. Теории суперструн в реальном мире // Успехи физических наук. – 1986. – № 12. – С. 577–579.
189. ДеВитт Б. С. Квантовая гравитация // В мире науки. – 1984. – № 2. – С. 50–62
190. Джорджи Х. Единая теория элементарных частиц и сил // Успехи физических наук. – 1982. – № 2. – С. 287–316.
191. Дышлевый П. С. Естественнонаучная картина мира как форма синтеза знания // Синтез современного научного знания. – М.: Наука, 1973. – С. 94–121.
192. Зельдович Я. Б. Классификация элементарных частиц и кварки «в изложении для пешеходов» // Успехи физических наук. – 1965. – № 2. – С. 303–314.
193. Зельманов А. Л. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной // Бесконечность и Вселенная. – М.: Мысль, 1969. – С. 210–304.
194. Коноплева Н. П. Понятие инерции и принцип симметрии // Принцип симметрии. – М.: Наука, 1978. – С. 196–222.
195. Костюк В. Н. Роль принципа простоты в естественнонаучных теориях // Вопросы философии. – 1964. – №5. – С. 74–84.
196. Кравец Т. П. Эволюция учения об энергии // Успехи физических наук. – 1948. – № 11. – С. 338–358.
197. Кузнецов И. В. Преемственность, единство и минимизация знания – фундаментальные черты научного метода // Материалистическая диалектика и методы естественных наук. – М.: НАУКА, 1968. – С. 322–367.
198. Кузнецов И. В. Структура физической теории // Вопросы философии. – 1967. – № . – С. 86–98.
199. Липкин А. И. Две методологические революции в физике – ключ к пониманию оснований квантовой механики // Вопросы философии. – 2010. – № 4. – С. 74–90.
200. Мамчур Е. А. Единство как идеал научного познания // Единство научного знания. – М.: Наука, 1988. – С. 279–293.
201. Мамчур Е.А. Идея единства и простоты научного знания. – URL: <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z00000702> (дата обращения: 15.01.2015).

202. Мигдал А. Б. Физика и Философия // Вопросы философии. – 1990. – №1. – С. 5–32.
203. Мизнер Ч., Уилер Д. Классическая физика как геометрия // А. Эйнштейн и теория гравитации. М., 1979.
204. Морозов А.Ю. Теория струн – что это такое? // Успехи физических наук. – 1992. – № 8 (162). – С. 83–175.
205. Мякишев Г. Я. Общая структура фундаментальных физических теорий и понятие состояния // Физическая теория. – М.: Наука, 1980. – С. 420–439.
206. Наберухин Ю. И. Еще раз о синхронизме часов в специальной теории относительности // Философия науки. – 2002. – № 2. – С. 68–85.
207. Новик И. Б. Единство методологии и аксиологии как выражение синтеза знаний // Синтез современного научного знания. М.: НАУКА, 1973. – С. 626–635.
208. Пайерлс Р. Построение физических моделей // Успехи физических наук. – 1983. – № 2. – С. 315–332.
209. Печенкин А. А. Три классификации интерпретаций квантовой механики // Философия науки. Вып. 5. Философия науки в поисках новых путей. М.: Изд-во ИФ РАН, 1999. – URL: <http://iph.ras.ru/page52404322.htm> (дата обращения: 19.04.2014).
210. Печенкин А. А. Функции научной теории // Философия. Методология. Наука. – М.: 1972.
211. Риман Б. О гипотезах, лежащих в основании геометрии // Об основаниях геометрии. – М.: Наука, 1956
212. Розенталь И. Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных // Успехи физических наук. – 1980. – № 6. – С. 239–256.
213. Салам А. Калибровочное объединение фундаментальных сил // Успехи физических наук. – 1980. – № 2.
214. Салам А. Фундаментальная природа материи (Результаты и методы) // Успехи физических наук. – 1969. – № 4. – С. 278–298.
215. Глэшоу С. На пути к объединенной теории – нити в гобелене // Успехи физических наук. – 1980. – № 2. – С. 219–228.
216. Салам А. Элементарные частицы // Успехи физических наук. – 1961. – №5.
217. Сивухин Д. В. О международной системе физических величин. // Успехи физических наук. – 1979. – № 129. – С. 335–338.

218. Симанов А. Л. Опыт разработки системы принципов физического познания естественнонаучного познания – I // «Философия науки». – 2001. – №1 (9). – С. 3 – 33.
219. Симанов А. Л., Сторожук А. Ю. Унификация как тенденция развития физики // «Философия науки». 2011. – №4 (51). – С. 61–67.
220. Степин В. С. Методология построения физической теории // Вопросы Философии. – 1974. – № 12. – С. 47–61.
221. Терехович В. Э. Вероятностный и геометрический языки физики в контексте принципа наименьшего действия // Философия науки. – 2013. – № 1 (56). – С. 80–93.
222. Терехович В. Э. Интерференция возможностей, или Как «интегралы по траекториям» объясняют вероятностную причинность // Философия науки. – 2012. – № 2 (53). – С. 108–121.
223. Томилин К. А. Фундаментальные постоянные и модели эволюции физики // Исследования по истории физики и механики. – М.: Наука, 2001. – С. 181–204.
224. Турсунов А. Основания космологии // Вопросы философии. – 1976. – №4.
225. Фаддеев Л. Д. Математический взгляд на эволюцию физики // Природа. – 1989. – № 5. С. 11–16.
226. Фок В. А. Квантовая физика и строение материи // Структура и формы материи. – М., 1967.
227. Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики // Успехи физических наук. – 1957. – № 4. – С. 461–474.
228. Френкель И. Я. Замечания к квантово–полевой теории материи // Успехи физических наук. – 1950. – № 9. С. 69–75.
229. Фридман Д. Супергравитация и унификация законов физики // Успехи физических наук. – 1979. – №1. – С. 135–160.
230. Хоофт ‘т Г. Калибровочные теории сил между элементарными частицами // Успехи физических наук. – 1981. – № 11. – С. 479–512.
231. Энтони С. Суперструны: всеобъемлющая теория? // Успехи физических наук. – 1986. – № 12. – С. 579–583.
232. Янг Ч. Эйнштейн и физика второй половины XX века // Успехи физических наук. – 1980. – № 9. – С. 169–175.

Иностранные источники

233. Bedau M. H. Emergence. / M. H. Bedau, P. Humphreys. – Cambridge, MA: MIT Pres, 2008.
234. Bergman D. L. Unification of Physics // Foundation of science. – URL: http://www.commonssencescience.org/pdf/articles/unification_of_physics.pdf.
235. Bergmann G. Physics and Ontology // Philosophy of Science. – 1961. – № 1 (28). – P. 1–14.
236. Bern Z. Loops, Trees and the Search for New Physics // Scientific American. – 2013. – № 2s.
237. Bilson-Thompson S. A topological model of composite preons. – URL: <http://es.arxiv.org/abs/hep-ph/0503213>.
238. Bilson-Thompson S. Quantum gravity and the standard model. URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0603022>.
239. Bunge M. Two Unification Strategies: Analysis or Reduction, and Synthesis or Integration // Otto Neurath and Unity of Science. – Springer, 2011. – P. 145–156.
240. Cartwright N. How the Laws of Physics Lie. / N. Cartwright. – Oxford: Clarendon Press, 1983.
241. Cartwright N. The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science. / N. Cartwright. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
242. Cat J. The physicists' debates on unification in physics at the end of the 20th century // Historical studies in the physical and biological science. – 1998. – №2 (28). – P. 253–299.
243. Cat J. The unity of science // Stanford encyclopedia of philosophy. – URL: <http://plato.stanford.edu/entries/scientific-unity>.
244. Causey R. Unified Theories and Unified Science // Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. – 1974. – № 13. – P. 3–13.
245. David A., Galchen R. Was Einstein Wrong?: A Quantum Threat to Special Relativity // Scientific American. – 2009. – № 3.
246. Dupré J. The Disorder of Things. Metaphysical Foundations of the Disunity of Science. / J. Dupré. – Cambridge, MA: Harvard University Press, 1993.
247. Ellis J. From the Standard Model to Grand Unification Philosophical // Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. – 1982. – № 1482 (304). – P. 69–86.

248. Ellis J. Unification and Supersymmetry Philosophical // Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. – 1983. – № 1512 (310). – P. 279–292.
249. Fodor J. Special sciences, or the disunity of science as a working hypothesis // Synthese. – 1974. – № 28. – P. 77–115.
250. Forster M. Unification and Scientific Realism Revisited // Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. – 1986. – P. 394–405.
251. Friedman M. Explanation and scientific understanding // The journal of philosophy. – 1974. – №1 (71). – P. 5–19.
252. Galison, P., Stump D. The Disunity of Science // Boundaries, Contexts and Power, Stanford: Stanford University Press, 1996.
253. Grantham T. Conceptualizing the (dis)unity of science // Philosophy of Science. – 2004. – № 71. – P. 133–155.
254. Gross D. The Role of Symmetry in Fundamental Physics // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 1996. – № 25 (93). – P. 14256–14259.
255. Halonen I., Hintikka J. Unification—it's magnificent but is it explanation? // Synthese. – 1999. – № 120. – P. 27–47.
256. Hedrich R. String Theory – From Physics to Metaphysics. – URL: arxiv.org/pdf/physics/0604171.
257. Heller M. Physics and Philosophy in the 20th century // Revista Portuguesa de Filosofia. – 2005. – № 61. – P. 73–87.
258. Heller M., Pysiak L. Fundamental Problems in the Unification of Physics // Found Phys. – 2011. – № 41. – P. 905–918.
259. Holton G. The Thematic Origins of Scientific Thought. / G. Holton. – Cambridge, MA: Harvard University Press, 1973.
260. Hossenfelder S., Smolin L. Phenomenological Quantum Gravity. – URL: arXiv:0911.2761.
261. Humphreys P. How properties emerge // Philosophy of Science. – 1997. – № 64. – P. 1–17.
262. Jones T. Reductionism and the Unification Theory of Explanation. // Philosophy of Science. – 1995. – № 1 (62). – P. 21–30.

263. Kitcher P. 1953 and all that: A tale of two sciences // *Philosophical Review*. – 1984. – № 93. – P. 335–373.
264. Kitcher P. Explanatory unification and the causal structure of the world // *Scientific explanation*. – 1989. – P. 410–505.
265. Kitcher P. Unification as Regulative Ideal // *Perspectives on Science*. – 1999. – № 7 (3). – P. 337–348.
266. Körner S. Deductive Unification and Idealisation // *The British Journal for the Philosophy of Science*. – 1964. – № 56 (14). – P. 274–284.
267. Ladyman J. Every thing must go. / J. Ladyman, D. Ross. – Oxford university press, 2007.
268. Lange M. Are there natural laws concerning particular species? // *Journal of Philosophy*. – 1995. – № 112. – P. 443–451.
269. Laughlin R., Pines D. The Theory of Everything // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2000. – № 1 (97). – P. 28–31.
270. Lisi A. G. An Exceptionally Simple Theory of Everything. – URL: <http://arxiv.org/abs/0711.0770>.
271. Lisi A. G., Smolin L. Unification of gravity, gauge fields, and Higgs bosons // *J.Phys.* – 2010. – A43: 445401.
272. Lisi A. G., Weatherall J. O. A Geometric Theory of Everything // *Scientific American*. – 2010. – № 303. – P. 54–61.
273. Lowe E. J. The Four-Category Ontology: A Metaphysical Foundation for Natural Science. / E. J. Lowe. – Oxford: Oxford University Press, 2006.
274. Maldacena J. Gravity, particle physics and their unification. – URL: <http://arxiv.org/abs/hep-ph/0002092>.
275. Margenau H. Foundations of the Unity of Science // *The Philosophical Review*. – 1941. – № 4 (50). – P. 431–439.
276. Mauldin T. On the unification of physics // *The journal of philosophy*. – 1996. – № 93. – P. 129–144.
277. Miller D. Metaphysics in Physics // *Philosophy of Science*. – 1946. – № 4 (13). – P. 281–286.
278. Morrison M. Emergence, Reduction, and Theoretical Principles: Rethinking Fundamentalism // *Philosophy of Science*. – 2006. – № 5 (73). – P. 876–887.

279. Morrison M. Unification, Realism and Inference // The British Journal for the Philosophy of Science. – 1990. – № 3 (41). – P. 305–332.
280. Morrison M. Unifying Scientific Theories: physical concepts and mathematical structures. / M. Morrison. – Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
281. Ney A. Reductionism // Internet Encyclopedia of Philosophy. – URL: <http://www.iep.utm.edu/red-ism>.
282. Nickles T. Theory Generalization, Problem Reduction and the Unity of Science // Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. – 1974. – P. 33–75.
283. Nugayev R. A Study of Theory Unification // The British Journal for the Philosophy of Science. – 1985. – № 2 (36). – P. 159–173.
284. Oppenheim P., Puthnam H. Unity of Science as a Working Hypothesis // Minnesota Studies, II, 1958.
285. Plutynski A. Explanatory Unification and the Early Synthesis. // The British Journal for the Philosophy of Science. – 2005. – № 3 (56). – P. 595–609.
286. Psillos S. Is Structural Realism Possible? // Philosophy of Science. – 2001. – № 3
287. Psillos S. The Structure, the Whole Structure, and Nothing but the Structure? // Philosophy of Science. – 2006. – № 5 (73). – P. 560–570.
288. Rovelli C. Quantum Gravity. / C. Rovelli– Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
289. Russel B. Definitions and methodological principles in theory of knowledge // The monist. – 1914. – №4 (24). – P. 582–593.
290. Sarkar S. Genetics and Reductionism. / S. Sarkar. – N/Y: Cambridge University Press, 1998.
291. Schurz G. Explanation as unification // Synthese. – 1999. – № 120. – P. 95–114.
292. Scientific explanation. – Minneapolis: Univ. of Minnesota press, 1989.
293. Smith S. Models and the Unity of Classical Physics: Nancy Cartwright's Dappled World // Philosophy of science. – 2001. – № 4 (68). – P. 456–475.
294. Smolin L. Atoms of Space and Time // Scientific American. – 2004. – №23. – P. 94–103.
295. Smolin L. How far are we from the quantum theory of gravity? – URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0303185>.

296. Smolin L. Welcome to Quantum Gravity // *Physics World*. – 2003. – №11 (16).
297. Sober E. Two uses of unification // *The Vienna Circle and Logical Empiricism*. – Kluwer academic publishers, 2003. – P. 205–214.
298. Solov'ev E. A. Physics and Metaphysics. – URL: arxiv.org/pdf/1212.1299.
299. Tegmark M. Is “the theory of everything” merely the ultimate ensemble theory? // *Annals of Physics*. – 1998. – № 270. – P. 1–51.
300. Tegmark M. The Interpretation of Quantum Mechanics: Many Worlds or Many Words? – URL: arXiv:quant-ph/9709032.
301. Tegmark M. The Mathematical Universe. – URL: arXiv:0704.0646.
302. Waldrop M. String as a Theory of Everything Science // *New Series*. – 1985. – № 4719 (229). – P. 1251–1253.
303. Wayne A. Theoretical unity: the case of the standard model // *Perspectives on Science*. – 1996. – № 4. – P. 391–407.
304. Weinstein G. Albert Einstein's Methodology. – URL: arxiv.org/pdf/1209.5181.
305. Zahar E. G. Einstein, or the Essential Unity of Science and Philosophy *Revista // Portuguesa de Filosofia*. – № 61. – P. 17–37.
306. Zee A. Symmetry and the Search for Beauty in Modern Physics // *New Literary History*. – 1992. – № 4 (23). – P. 815–838.

Список таблиц

1.	Подходы к вопросу о единстве знания	27
2.	Сопоставление структур научного метода и методологического принципа	30
3.	Экспликация системы принципов физического познания	35
4.	Основания физической теории	61
5.	Структура уровней научного знания	65
6.	Список объединений и обобщений классической механики	84
7.	Методологическая структура общего вариационного принципа Даламбера	87
8.	Методологическое описание вариационного принципа Гамильтона	88
9.	Список объединений и обобщений аналитической механики	91
10.	Список объединений и обобщений классического электромагнетизма	98
11.	Список объединений и обобщений специальной теории относительности	105
12.	Методологическое описание принципа относительности Эйнштейна	108
13.	Список объединений и обобщений общей теории относительности	112
14.	Список объединений и обобщений квантовой механики	121
15.	Список объединений и обобщений квантовомеханических теорий поля	141
16.	Модели эволюции физических теорий	148
17.	Принципиальная модель физических и философских принципов	157
18.	Сравнительная таблица теорий-кандидатов на единую теорию	176
19.	Эволюция представлений о категориях «пространство» и «взаимодействие»	189

Список рисунков

1.	Связи между физическими и методологическими принципами	34
2.	Система принципов физического познания	37
3.	Экспликация системы принципов физического познания	39
4.	Система принципов физического познания с принципом объяснения	40
5.	Первый уровень методологического принципа унификации	56
6.	Второй уровень методологического принципа унификации	59
7.	Куб физических теорий Зельманова	149
8.	Классификация физических программ Визгина	151
9.	Обобщенная модель физических теорий Томилина	153
10.	Категориальная модель физических категорий	155
11.	Категориально-принципиальная модель эволюции физических теорий	160
12.	Основные физические модели мира и преемственность между ними	203