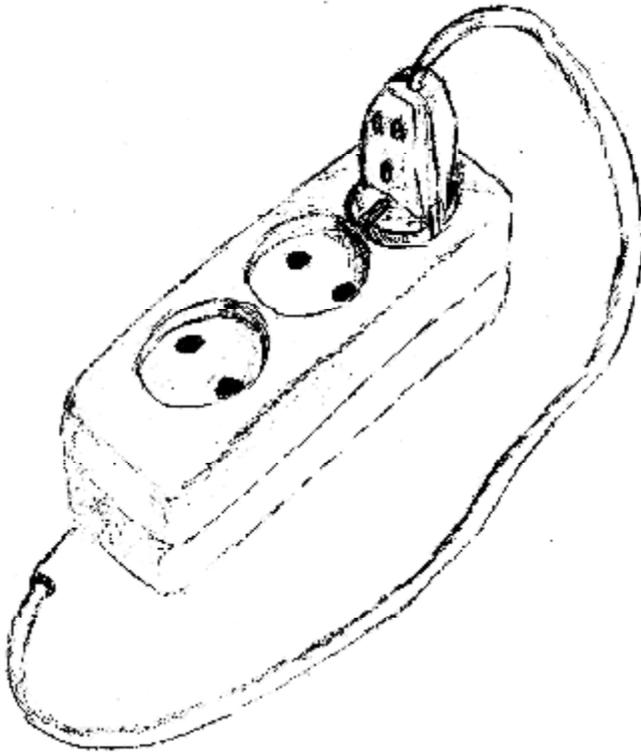


А. Ю. Сторожук

ПРЕДЕЛЫ НАУКИ



НОВОСИБИРСК

2005

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ И ПРАВА
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ИСТОРИИ, ФИЛОЛОГИИ И ФИЛОСОФИИ

А. Ю. СТОРОЖУК

ПРЕДЕЛЫ НАУКИ

НОВОСИБИРСК

2005

2

УДК 001.8

ББК 87

С 823

Сторожук А. Ю. Пределы науки: Монография / Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск, 2005. 240 с.

ISBN 5-94356-306-7

В монографии разрабатывается метод уточнения нечетких понятий. Этот метод применен для уточнения понятия научной теории, что равносильно построению критерия демаркации научных и ненаучных концепций. Предлагаемый метод уточнения нечетких понятий основан на установлении наличия у проверяемой теории ряда важных характеристик научного знания: эмпирической проверяемости, соответствия теории фактам, объяснительной и предсказательной силы теорий, непротиворечивости теории по отношению к установившимся теориям, системности. Полученный критерий может применяться для определения статуса выдвигаемых концепций.

Монография адресована прежде всего специалистам в области философии науки, а также может быть интересна широкому кругу читателей.

Утверждено к печати

ученым советом Института философии и права СО РАН

Работа выполнена при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
проект № 04-06-80416 и Фонда Президента Российской Федерации для
поддержки молодых российских ученых, проект № МК-1650. 2005. б.

ISBN 5-94356-306-7

© **А. Ю. Сторожук**

СОДЕРЖАНИЕ

ABSTRACT	7
ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ.....	9
1.1. История проблемы демаркации научного знания	9
1.1.1. Появление современной науки	9
1.1.2. Проблема демаркации в позитивизме.....	12
1.1.3. Критерий научности К. Поппера	14
1.1.4. Подход Лакатоса к решению проблемы демаркации.....	17
1.1.5. Социологический подход Т. Куна	24
1.1.6. Позиция П. Фейерабенда: возвращение метафизики в науку.....	26
1.2. Понятие научности как нечеткое понятие.....	27
1.2.1. Теория нечетких множеств	28
1. 3. Разработка метода уточнения нечетких понятий	30
ГЛАВА 2. СУЩЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ.....	34
2.1. Методы поиска существенных свойств.....	34
2.1.1. Метод индукции Ф. Бэкона.....	34
2.1.2. Изменение статуса научной теории	36
2.2. Анализ примеров смены научных теорий	37
2.2.1. Теория Птолемея и Коперниканская революция в астрономии.....	37
2.2.2. Вещественная теория теплоты сменяется кинетической теорией	56
2.2.3. Модели атома Дж. Томсона и Э. Резерфорда	61
2.3. Существенные характеристики научной теории.....	70
ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАУЧНОЙ ТЕОРИИ.....	72
3.1. Область приложения теории.....	72
3.2. Эмпирическая проверяемость.....	73
3.2.1. Позиция позитивистов	73
3.2.2. Теоретическая нагруженность наблюдения	76

3.2.3. Невозможность провести четкую границу между наблюдаемым и ненаблюдаемым	80
3.3. Соответствие теории экспериментальным данным	89
3.3.1. Позиция фальсификационизма	89
3.3.2. Эвристическая роль соответствия теории экспериментальным данным	92
3.3.3. Эвристическая роль экспериментальных ошибок.....	94
3.4. Объяснительная и предсказательная сила теории. Краткий обзор основных моделей объяснения.....	100
3.4.1. Ситуация до появления первых моделей объяснения. Позиция П. Дюгема: научная теория не должна объяснять факты.....	101
3.4.2. Модель интертеоретической редукции Нагеля	102
3.4.3. Дедуктивно-номологическая модель Гемпеля	103
3.4.4. Индуктивно-статистическая модель Гемпеля	110
3.4.5. Прагматическая модель объяснения ван Фраассена	116
3.4.6. Унификационная модель научного объяснения Ф. Китчера.....	125
3.4.7. Случайная (Aleatory) модель научного объяснения Пауля Хамфриса	128
3.4.8. Статистически-релевантная модель В. Салмона.....	129
3.4.9. Классификация подходов к проблеме объяснения: эпистемический подход	134
3.4.10. Классификация подходов к проблеме объяснения: модальный подход	135
3.4.11. Классификация подходов к проблеме объяснения: онтический подход.....	136
3.5. Соответствие новой теории существующим теориям (преемственность теорий).....	139
3.5.1. Возможные отношения между теориями	141
3.5.2. Отношения между теориями: формальные, семантические и прагматические (по М. Бунге).....	143
3.6. Системность научной теории.....	148
3.6.1. Логическая непротиворечивость теории	149
 ГЛАВА 4. ПОСТРОЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАУЧНОСТИ.....	 152
4.1. Определение научной теории	152

4.2. Доказательство необходимости и достаточности набора характеристик для установления научности теории.....	156
4.3. Применение метода уточнения нечетких понятий к понятию научной теории	160

ГЛАВА 5. ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАУЧНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ) 167

5.1. Калибровка критерия	168
5.2. Пояснения к таблицам.....	173
5.2.1. Механика Ньютона.....	173
5.2.2. Волновая теория Френеля. Явление дифракции	179
5.2.3. Волновая теория Френеля. Явление поляризации.....	183
5.2.4. Электродинамика Ампера	188
5.2.5. Электромагнитная теория Максвелла.....	192
5.2.6. Электродинамика Лоренца (H. A. Lorentz).....	203
5.2.7. Специальная теория относительности	208
5.2.8. Общая теория относительности Эйнштейна	213
5.3. Результаты калибровки критерия.....	216
5.4. Область применения критерия	217
5.4.1. Структура научной теории.....	218
5.5. Применение критерия к современным концепциям ..	226

ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... 231

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 233

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 235

Abstract

Storozhuk, Anna PhD of the Institute Philosophy and Law, Novosibirsk
The Limits of Science
Print ISBN 5943563067, 2005

This book takes its start from the positivists approach to the demarcation problem. It will be seen that understanding of ‘scientific theory’ concept are changing in dependence from a period of scientific developing. Because one may understand that this concept is a fuzzy concept. On basis of Wittgenstein’s idea on family resemblances, I develop a new method to improve fuzzy concepts by bounding its content. The elaborated method is used to limit concept of scientific theory that is equivalent to a solving of the demarcation problem. The method is based on invoking a variety of scientific theory virtues: empirical adequacy, simplicity, consistency, explanatory and predictive facility, correspondence with mature theories.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1999-м г. в Институте философии и права проходил круглый стол, посвященный проблеме демаркации науки и лженауки. Каждый докладчик (уважаемый профессор) указывал на признаки, которые помогают отличить лженауку от научной теории. Первый докладчик предлагал свою версию. Следующий докладчик тоже перечислял характерные свойства лженауки, при этом несколько иные. Третий подчеркивал не менее важные характеристики науки, и его перечень опять–таки отличался от первых двух.

И я, тогда аспирантка, слушая уважаемых профессоров, обратила внимание на то, что понятие научности, которое они пытались определить, обладает характерным признаком нечеткого понятия. Этот признак был сформулирован Людвигом Витгенштейном: для нечеткого понятия нельзя указать ни одного свойства, которое было бы присуще всем без исключения объектам данного класса. Для любого свойства найдется элемент, не обладающий им. Витгенштейн пояснял свою мысль с помощью аналогии: представьте себе канат, сплетенный из множества волокон. Ни одно волокно не проходит через весь канат, но, собранные вместе, они придают канату необходимую прочность. «Я не могу охарактеризовать эти подобию лучше, чем назвав их “семейными сходствами”, ибо также накладываются и переплетаются сходства, существующие у членов одной семьи: рост, черты лица, цвет глаз, походка, темперамент и т. д.»¹.

Предположив, что проблема определения понятия научности связана с его нечеткостью, я попыталась построить метод уточнения нечетких понятий. Фактически предлагаемый метод основан на сужении области определения понятия до тех границ, в которых это понятие можно определить точно.

Критерий, построенный по принципу семейного сходства, позволяет работать с нечеткими понятиями. В основе лежит идея Витгенштейна о нечетких понятиях. Разработка способа уточнения нечетких понятий производится на примере одного из таких понятий – понятия научности. Установление границ этого понятия является решением проблемы демаркации науки и лженауки.

Автор благодарит А. Л. Симанова и В. В. Корухова за консультации по методологическим вопросам, затрагиваемым в монографии, а С. С. Розову и В. М. Резникова за ценные замечания, высказанные в адрес основных идей предлагаемой вашему вниманию книги.

¹ *Витгенштейн Л.* Философские исследования // Философские работы. М., 1994. Ч. 1.

Глава 1. ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ

1.1. История проблемы демаркации научного знания

Каждая новая теория включает в себя не только научные положения, но и методы их обоснования. Поэтому иногда появление новой теории настолько изменяет стандарты научности, что предыдущие теории становятся ненаучными. Например, алхимия после появления химии превратилась в лженауку, а после возникновения экспериментальной психологии учение о душе начали относить к области метафизики.

Облик науки изменялся в зависимости от многих внешних факторов, например, от уровня развития общественного сознания, промышленности, технологии; соответственно изменялись и стандарты научности. На формирование науки оказывали влияние религиозные и философские взгляды людей, а также их представления об устройстве мира.

1.1.1. Появление современной науки

Во времена античности и раннего Средневековья предпочтение отдавалось построению умозрительной аргументации, которая рассматривалась как более достоверная, чем информация, получаемая путем восприятия. Соответственно, Аристотель считал наукой метафизику, а те дисциплины, которые именуются науками сегодня — физику, химию, биологию, — традиционно относили к искусствам.

В XV веке произошла переоценка значимости органов чувств, в частности зрения. Преодоление недоверия к процессу наблюдения позволило также пересмотреть отношение к приборам и по-новому взглянуть на проблему измерения. В эпоху Возрождения начало формироваться экспериментально-математическое естествознание, а технологическое применение науки стало одним из стимулов научного прогресса. Коперник, Кеплер, Галилей, Ньютон, Декарт установили тесную связь между математикой и физикой, использовали эксперимент для получения нового знания.

Принято считать, что началом современной науки является наука Нового времени, когда основными научными методами стали эксперимент и математическая обработка полученных результатов.

Хотя и эксперимент, и математическое описание применялись еще в античности, Галилей придал им совершенно другое значение. Так, если перипатетики использовали опыт для демонстрации умозрительно полученных выводов, то Галилей предварял выводы экспериментальным исследованием. Небольшая выдержка из трактата Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира» может послужить хорошей иллюстрацией к сказанному: «Как-то я был в доме одного весьма уважаемого в Венеции врача, куда иногда собирались – одни, чтобы поучиться, а другие из любопытства – посмотреть на рассечение трупа, производимое рукою этого не только ученого, но искусного и опытного анатома. Как раз в тот день ему случилось заняться изысканием происхождения и зарождения нервов, по каковому вопросу существует известное разногласие между врачами-галенистами и врачами-перипатетиками. Анатом показал, как нервы выходят из мозга, проходят в виде мощного ствола через затылок, затем тянутся вдоль позвоночника, разветвляются по всему телу и в виде только одной тончайшей нити достигают сердца. Тут он обернулся к одному дворянину, которого знал как философа-перипатетика и в присутствии которого он с исключительной тщательностью раскрыл и показал все это, и спросил его, удовлетворен ли он теперь и убедился ли, что нервы идут от мозга, а не от сердца. И этот философ, задумавшись на некоторое время, ответил: “Вы мне показали все это так ясно и ощутимо, что если бы текст Аристотеля не говорил обратного, – а там прямо сказано, что нервы зарождаются в сердце, – то необходимо было бы признать это истинной”»².

Новый экспериментальный метод Галилея предполагал проверку выдвигаемых гипотез с помощью опыта, а не иллюстрирование умозрительно полученных выводов. В частности, Галилей проделывал опыты, которые перипатетики использовали для демонстрации неподвижности Земли, и показывал, что полученные результаты не могут служить подтверждением точки зрения Аристотеля. Например, сторонники Аристотеля утверждали: камень, брошенный с вершины башни, упадет к ее подножию, что свидетельствует о неподвижности Земли, так как если бы Земля двигалась, то камень должен был бы упасть далеко от подножья. «Эти авторы (перипате-

² Галилей Г. Диалог о двух системах мира — Птолемеевой и Коперниковой // Избранные труды в 2-х т. Т. 1. Пер. Н. М. Телевтиной. М.: «Наука», 1964. С. 206.

тики – А. С.) ссылались на опыт, не производя его; вы сами (Сагрето – А. С.) являетесь тому хорошим примером, когда, не производя опыта, объявляете его достоверным и предлагаете на слово поверить им; совершенно так же не только возможно, но и достоверно, что авторы поступали таким же образом, отсылая к своим предшественникам и никогда не доходя до того, кто этот опыт проделал сам, ибо всякий, кто его проделал, найдет, что опыт показывает совершенно обратное написанному, а именно, что камень всегда упадет в одно и то же место корабля, неподвижен ли тот или движется с какой угодно скоростью. Отсюда, так как условия Земли и корабля одни и те же, следует, что из факта всегда отвесного падения камня к подножью башни нельзя сделать никакого заключения о движении или покое Земли»³.

Кроме того, Галилей пересмотрел традиционные методы математической обработки результатов наблюдений и ввел новые способы оценки погрешности измерений, а также разработал новый стандарт для вычисления положений звезд и определения расстояния до них. Эти методы⁴ он применил для определения расстояния до сверхновых 1572 и 1604-го гг.

Философы Нового времени также уделяли большое внимание зарождавшейся науке и участвовали в разработке методологии исследования (Ф. Бэкон, Дж. Милль). В частности, Бэкон проанализировал источники заблуждений – идола⁵, дал описание научного опыта⁶ и разработал метод индукции⁷.

Наука пользовалась таким большим авторитетом, что научные стандарты описания, принятые в механике, заимствовались другими областями знания, в том числе гуманитарными науками. Так на-

³ Галилей Г. Диалог о двух системах мира – Птолемеевой и Коперниковой. С. 243.

⁴ Там же. См. например возражения Киарамонти на С. 376-414. Подробный анализ можно найти в статье: *Hon G. Putting Error to (Historical) Work: Error as a Tell-tale in the Studies of Kepler and Galileo* // Centaurus. 2004. V. 46. P. 58-81. Русский перевод: Хон Г. Ошибка обретает исторический смысл: ошибка как указание в исследованиях Кеплера и Галилея // Философия науки. № 1(20). Новосибирск, 2004. С. 43-68.

⁵ Бэкон Ф. Афоризмы об истолковании природы и царстве человека // Сочинения в 2 т. М.: Мысль, 1978. Т. 2. С. 12-79.

⁶ Бэкон Ф. О достоинстве и приумножении наук // Сочинения в 2 т. М.: Мысль, 1978. Т. 1. С. 286-295.

⁷ Бэкон Ф. Книга вторая афоризмов об истолковании природы, или О царстве человека // Сочинения в 2 т. М.: Мысль, 1978. Т. 2. С. 80-214.

пример, Б. Спиноза построил свою «Этику»⁸ как аксиоматическую систему, а Т. Гоббс использовал принципы механики для обоснования морали и политического права.

Однако позже, в середине XIX века, с расцветом философии Гегеля возникла необходимость защищать науку от внедрения метафизики, а также от использования умозрительных рассуждений и от спекуляций, распространяемых неогегельянами. Поэтому потребовалось провести демаркацию между наукой и «не наукой» – в данном случае между наукой и метафизикой, под которой понимались философские системы, подобные гегелевской⁹. Как реакция на расцвет неогегельянства возникла новая позитивная философия; ее основателем стал известный физик Огюст Конт. Приверженцы новой философии, называвшие себя позитивистами, требовали оградить науку сначала от метафизики, а в конце XIX – начале XX века и от лженауки, расцвет которой был обусловлен нестабильной политической обстановкой в Европе и экономическим кризисом. Наследие позитивистов весьма обширно, поэтому рассмотрим его более подробно.

1.1.2. Проблема демаркации в позитивизме

Проблема демаркации науки являлась основным философским вопросом для такого течения, как позитивизм. О. Конт ставил перед собой задачу избавления философии от абстрактной умозрительности, что можно рассматривать как протест против философии неогегельянства, в 20–30-е гг. XIX века имевшей в Германии правительственную поддержку. О. Конт ставил задачу очистить не науку от лженауки, а науку от философии (метафизики).

Конт, Милль, Спенсер пытались построить философию, которая по их замыслу должна была преодолеть недостатки старой умозрительной философии и стать альтернативой теологическому мировоззрению. Вопреки последнему, позитивизм призывал изучать явления природы, а не ориентироваться на постижение сущности. Основным методом новой философии была индукция; дедуктивный вывод и умозрительные построения признавались несостоятельными. Очевидно, что отказ от выдвижения гипотез нельзя признать

⁸ Спиноза Б. Этика, доказанная в геометрическом порядке и разделенная на пять частей // Избранные произведения. 2-х т. Т. 1., 1957. С. 359-618.

⁹ Чуешов В. И. Введение в современную философию. Минск: «ТетраСистемс», 1997.

удовлетворительным в качестве критерия демаркации науки от метафизики, ведь в науке широко используется не только индуктивный метод, но и дедуктивный.

Новой волной в позитивизме стал эмпириокритицизм, основоположниками которого являются Э. Мах и Р. Авенариус. Появление эмпириокритицизма связано с кризисом науки в конце XIX – начале XX веков. В то время математика состояла из большого числа примыкавших друг к другу областей. Математики пытались реализовать программу Гильберта и дать новое основание математике – теорию множеств. Реализация программы Гильберта позволила бы использовать логику для построения единой стройной системы, объединившей все разделы математики. Однако Рассел обнаружил парадокс в самой теории множеств, а теорема Геделя показала ограниченность формального подхода. Кроме формализма, как реакция на кризис математики возникло еще два течения – интуиционизм, оспаривавший правомерность применения аксиомы выбора, и реализм, достигший расцвета в философии во второй половине XX в.

В начале XX века были переосмыслены фундаментальные понятия механики – понятие одновременности, пространства, времени. Требовалось философско-гносеологическое обоснование фундаментальных положений теории относительности и квантовой механики. Многие крупные ученые – Пуанкаре, Эйнштейн, Гейзенберг и др. – анализировали основные понятия научных теорий и искали обоснования новой картины мира.

Стремление преодолеть методологическую ограниченность эмпириокритицизма привело к созданию новой позитивной философии – неопозитивизма, основной частью которого был логический позитивизм. Последний принимал позицию эмпиризма, в том числе такие два предположения: во-первых, возможность строго разделить эмпирическое и теоретическое знание; во-вторых, существование надежных способов получения эмпирических данных.

Морис Шлик в «Манифесте Венского кружка» указал, что в основании науки лежат логика и опыт. Неопозитивисты считали, что верифицируемость представляет собой главное свойство научного знания. Другой особенностью научного знания является его логичность: предложения должны быть построены в соответствии с правилами логики высказываний. Все предложения делились на осмысленные, (они могли быть истинными или ложными, такими

считались научные положения), неосмысленные и бессмысленные (философские). Однако принцип верификации не смог стать универсальным принципом, позволяющим разграничить науку и псевдонауку, так как неverifiedируемыми являются общие предложения, к которым относятся, в частности, научные законы.

Чтобы построить критерий научности, логический позитивизм обращался к анализу структуры предложений. Попытка не удалась, но идеи логических позитивистов дали начало новым поискам критерия научности. «Сейчас принято объявлять логический позитивизм мертвым и исчезнувшим. Тем не менее, надо помнить, что это движение было побеждено и вытеснено в огромной степени благодаря самокритике, генерированной в своем собственном кругу. Такое сочетание саморазрушения и саморазвития является, возможно, уникальным в истории мысли»¹⁰.

1.1.3. Критерий научности К. Поппера

Свою точку зрения на проблему демаркации науки и псевдонауки Поппер изложил в статье «Наука: доказательства и опровержения»¹¹. Поппер считал, что научность теории более важна, чем ее истинность: «Я хочу провести различие между наукой и псевдонаукой, очень хорошо зная, что наука часто ошибается, а псевдонаука может случайно найти истину»¹². Таким образом, истинность теории не может служить критерием демаркации науки и лженауки. Поппер указывал также на невозможность методологического различения науки и ненауки, что привело в тупик логических позитивистов. Конечно, ученый отличается от метафизика применением эмпирического метода, но астрология тоже весьма эмпирична.

Поппер пытался найти критерий демаркации, который позволил бы провести различие между механикой Ньютона и теорией относительности Эйнштейна, с одной стороны, и теориями, ненаучность которых интуитивно чувствовал Поппер – психоанализом Фрейда, индивидуальной психологией Адлера и теорией истории Маркса, – с другой.

¹⁰ Вригт Г. Х. Логика и философия в XX веке // Вопросы философии. 1992. № 8. С. 85.

¹¹ Popper K. Science: Conjectures and Refutations // Philosophy of Science / M. Curd & J. A. Cover. (Eds.) NY, 1988. P. 3-10. См. также полнотекстовый вариант на сайте <http://cla.calpoly.edu/~fotoole/321.1/popper.html> (5.11.2004)

¹² Ibid. P. 3.

Теории Маркса и Фрейда обладали значительной объяснительной силой. Маркс и Фрейд словно «открыли ваши глаза, и вы повсюду видели подтверждающие примеры: мир был полон подтверждений этих теорий... Таким образом, их теории, казалось, провозглашали истину, и ясно, что люди, которые не желали видеть эту очевидную истину, были скептиками»¹³. Ситуация с Эйнштейном оказалась иной: один-единственный эксперимент Эддингтона, завершения которого ждали с нетерпением, должен был решить судьбу общей теории относительности.

В результате Поппер ввел понятие фальсифицируемости теории; именно оно, по его мнению, и должно было позволить провести демаркацию между наукой и псевдонаукой. Понятие фальсифицируемости является ключевым пунктом в философии Поппера – здесь он разошелся с логическими позитивистами, поэтому рассмотрим этот момент подробнее. Замечания, высказанные Поппером в адрес логического позитивизма, сводились к следующему: научные теории не следуют из опыта, так что индукция не требуется ни для обоснования, ни для создания научной теории. Общее предложение может быть только опровергнуто частным предложением, но не подтверждено им. Следовательно, критерием научности должна служить не проверяемость предложений, а их опровергаемость; подлинно научные утверждения не должны согласовываться со всеми фактами, более того, некоторые факты научная теория должна запрещать. Фальсифицируемость теории гарантирует, что она экспериментально проверяема, при этом достаточно одного-единственного факта, чтобы теория была опровергнута.

Философия Поппера, как и философия логического атомизма, имеет дело с логическим анализом отдельных предложений. Целью Поппера «было устранение метафизики как выражения всего того, что выглядело обскурантистским, эмпирически бессмысленным и, следовательно, антинаучным (или в лучшем случае ненаучным)»¹⁴.

Продолжим обзор статьи «Наука: доказательства и опровержения». Далее Поппер сформулировал ряд выводов:

«1. Легко хотя бы приблизительно подтвердить или верифицировать любую теорию, если мы ищем подтверждения.

¹³ *Popper K. Science: Conjectures and Refutations. P. 5.*

¹⁴ *Вартофский М. Эвристическая роль метафизики в науке // Структура и развитие науки. М.: Прогресс, 1978. С. 45.*

2. Подтверждения нужно учитывать, только если они представляют собой результат рискованных предсказаний, то есть не освещены сомнительной теорией, если мы должны ожидать событий, несовместимых с теорией, и событий, опровергающих теорию.

3. Каждая “хорошая” научная теория представляет собой запрещение: она запрещает появление некоторых вещей. Чем больше теория запрещает, тем она лучше.

4. Теория, которая не запрещает никаких возможных событий, является ненаучной. Неопровержимость оказывается не достоинством теории (как часто думают), а недостатком.

5. Каждая подлинная проверка теории является попыткой фальсифицировать или опровергнуть ее. Проверимость – это фальсифицируемость, но существуют степени проверяемости: некоторые теории более проверяемы, более подвержены опровержению, чем другие; они и оказываются наиболее рискованными.

6. Подтверждающее свидетельство не должно учитываться, исключая случаи, когда оно является результатом подлинной проверки; а это означает, что оно может быть представлено как серьезная, но безуспешная попытка опровергнуть теорию.

7. Приверженцы некоторых подлинно проверяемых теорий продолжают придерживаться их, когда обнаружена их ложность, вводя, например, вспомогательные *ad hoc* гипотезы или переинтерпретируя теорию так, чтобы избежать опровержения. Подробная процедура всегда возможна, но спасение теории от опровержения достигается ценой разрушения или, по крайней мере, принижения ее научного статуса»¹⁵.

Критики концепции Поппера указывают на то, что она не соответствует реальному положению дел: научная теория не отбрасывается при появлении противоречащего ей эксперимента. Следовательно, фальсифицируемость не может служить критерием научности. Подход Поппера к демаркации науки и лженауки несостоятелен, поскольку научные теории выходят за пределы наблюдаемых явлений, «касаются скрытых причин наблюдаемых явлений, они проникают в более глубокие пласты реальности, и на этой основе

¹⁵ Popper K. Science: Conjectures and Refutations. P. 7.

могут подвергать сомнению и пересматривать наличный эмпирический материал»¹⁶.

Кроме того, Поппер вслед за логическими позитивистами принимает предположения эмпиризма. П. Фейерабенд в работе «Объяснение, редукция, эмпиризм», критикуя позицию Поппера, указывал на то, что «одно и то же множество данных наблюдения совместимо с очень разными и взаимно несовместимыми теориями»¹⁷. Это происходит потому, что, во-первых, «универсальные теории всегда выходят за рамки любого множества наблюдений, доступных нам в тот или иной момент времени»¹⁸, и, во-вторых, «истинность предложений наблюдения всегда устанавливается в пределах определенной погрешности»¹⁹. К тому же, значения теоретических терминов не инвариантны относительно редукции. Поэтому научные законы и общие принципы не являются просто индуктивными обобщениями, а содержат различные представления относительно онтологии, средств измерения, способов рассуждения, а также многие другие допущения. «Теория, выдвигаемая ученым, зависит не только от фактов, имеющихся в его распоряжении, но и от традиции, представителем которой он является, от математического аппарата, которым он случайно владеет, от его вкусов, его эстетических взглядов, от мнений его друзей и других элементов, которые существуют не в фактах, а в мышлении теоретика и, следовательно, носят субъективный характер»²⁰.

1.1.4. Подход Лакатоса к решению проблемы демаркации

Идеи Поппера развивал его последователь – Имре Лакатос, который пытался отойти от концепции наивного фальсификационизма, разработанной Поппером. С одной стороны, Лакатос стремится защитить рациональную философию Поппера от критики Фейерабенда, подчеркнувшего значение случайных нерациональных факторов в развитии науки. С другой стороны, он осознает слабые сто-

¹⁶ Сокулер З. А. Проблема обоснования знания (Гносеологические концепции Л. Витгенштейна и К. Поппера.) М.: Наука, 1988. С. 41.

¹⁷ Фейерабенд П. Объяснение, редукция, эмпиризм // Избранные труды по методологии науки. М.: Прогресс, 1986. С. 53.

¹⁸ Там же.

¹⁹ Там же.

²⁰ Там же. С. 54.

роны предлагаемого Поппером подхода и пытается предложить концепцию, более адекватную свидетельствам о развитии науки.

Лакатос начинает свою статью «Наука и псевдонаука»²¹ с рассмотрения примера отлучения Коперника от церкви из-за того, что предложенная им концепция лженаучна. Следовательно, делает вывод Лакатос, «демаркация между наукой и псевдонаукой является не просто проблемой кабинетной философии: она имеет существенное социальное и политическое значение»²². Однако, хотя Лакатос признает значимость общественных факторов, он критикует исключительно узкий социологический подход к проблеме демаркации, указывая на его недостаточность. В частности, Лакатос утверждает, что нельзя считать научным то, во что верит большинство людей. Предложение может быть лженаучным, даже если многие верят в него, и научным, даже если в него никто не верит. «Многие философы пытаются решить проблему демаркации в следующих терминах: утверждение представляет собой знание, если достаточно много людей верят в него достаточно сильно. Но история мышления показывает нам, что многие люди истово верили в абсурд»²³.

Причина такого рода заблуждений кроется в глубинном устройстве человеческой психики. Основной закон психологии познания – закон ассоциаций – указывает на то, что наши представления основаны порой на случайных совпадениях, а не на существенных характеристиках²⁴. Следовательно, утверждает Лакатос, «познавательная ценность теории не имеет ничего общего с влиянием на человеческие умы. Вера, взгляды, понимание являются состояниями человеческого ума. Однако объективная научная ценность теории не зависит от человеческого ума, который создает эту теорию или понимает ее»²⁵.

Спорит Лакатос также и с подходом логического позитивизма, который утверждает значимость экспериментальной проверки теории. Согласно Лакатосу, ни верификационизм, ни фальсификационизм не могут дать удовлетворительный критерий демаркации.

²¹ *Lacatos I. Science and Pseudoscience // Philosophical Papers. V. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1977. P. 1-7.*

²² *Ibid. P. 1.*

²³ *Ibid.*

²⁴ См. напр. *Мак Э. Познание и заблуждение. М.: Бином, 2003. С. 111-142.*

²⁵ *Lacatos I. Science and Pseudoscience. P. 2.*

Факты не доказывают теорию и не могут ее опровергнуть. Значение опыта сильно переоценено: «В начале XIX века Ампер называет свою книгу, посвященную рассуждениям об электромагнетизме “Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта”. Однако в конце книги он вынужден сознаться, что некоторые из этих экспериментов никогда не проводились и что даже не были изготовлены необходимые инструменты»²⁶.

Поэтому Лакатос пытается совместить оба подхода (позитивистский и социологический) в одном понятии – понятии *научной исследовательской программы*. Предлагаемая концепция включает в себя идею роста научного знания, предложенную Поппером. И. Лакатос разработал модель развития науки, согласно которой научные теории рассматривались как развивающиеся в рамках исследовательской программы, и предложил изучать последовательности научных теорий, сменяющих друг друга.

Таким образом, по мнению Лакатоса, наука представляет собой деятельность по решению ряда проблем в рамках конкретной исследовательской программы. История науки является историей рождения, жизни, соперничества и гибели исследовательских программ. Лакатос вводит понятие структуры научно-исследовательской программы. Он выделяет «жесткое ядро», состоящее из предложений, которые требуется сохранить в любом случае, и «защитный пояс» предположений, которые защищают ядро от фальсификации и могут изменяться и модифицироваться. Рассмотрение структуры научных программ позволило Лакатосу отделить стандарты оценки научных теорий от правил принятия научных теорий. Оценке подлежит не отдельная теория, а ряд или последовательность теорий. «Мы “принимаем” сдвиги проблем как “научные”, если они, по меньшей мере, теоретически прогрессивны; если нет, мы отвергаем их как “псевдонаучные”»²⁷. Тем не менее исследовательская программа может сохраняться в науке даже в том случае, когда теории, которые ее образуют, несостоятельны. Кроме того, теория не может быть окончательно отброшена даже несмотря на решающий эксперимент. Таким образом, простое несоответствие фактам не является поводом для отбрасывания теории: «Все про-

²⁶ *Lacatos I. Science and Pseudoscience.*

²⁷ *Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ.* М.: Медиум, 1995. С. 55.

граммы вырастают среди постоянного океана аномалий»²⁸. Подобный подход защищает предлагаемую Лакатосом концепцию от двух критических аргументов, высказываемых в адрес концепции фальсификации Поппера: тезиса Дюгема-Куайна и тезиса Гемпеля. Рассмотрим более подробно суть этих возражений.

Тезис Дюгема-Куайна гласит, что невозможно установить, какое в точности предложение теории опровергнуто. «Пытаться отделить каждую гипотезу в теоретической физике от других допущений, на которых покоится эта наука, чтобы подвергнуть ее контролю наблюдения отдельно, значит увлекаться химерой: осуществление и истолкование любого эксперимента физики предполагает признание целой группы теоретических положений.

Единственная экспериментальная проверка физической теории, которую нельзя назвать нелогичной, заключается в сравнении целой системы физической теории с целой группой экспериментальных законов с целью проверить, выражает ли первая достаточно удовлетворительным образом вторую»²⁹. Таким образом, фальсифицироваться должна вся теория целиком, а это невозможно: в состав теории входят экзистенциальные высказывания, которые не могут быть фальсифицированы в принципе.

В концепции Лакатоса аномальный пример является не поводом для отбрасывания теории, а стимулом для развития теории через разрешение появившегося противоречия. В книге «Доказательства и опровержения»³⁰ Лакатос на примере доказательства теоремы Эйлера показывает, что если появляется опровергающий гипотезу контрпример, то может быть отброшена не гипотеза, а контрпример. При появлении противоречия могут быть уточнены

²⁸ *Lacatos I.* Science and Pseudoscience. P. 6.

²⁹ *Дюгем П.* Физическая теория. Ее цель и строение. Спб.: Образование, 1910. С. 239. В изложении Куайна этот тезис звучит следующим образом: «Наши высказывания о внешнем опыте находятся перед лицом трибунала чувственного опыта не поодиночке, но как совокупное целое». *Куайн У. В. О.* Две догмы эмпиризма // С точки зрения логики. 9 логико-философских очерков. Томск: Изд-во Томского университета, 2003. С. 43. Подробное сравнение тезиса Дюгема и тезиса Куайна приведено в работе: *Gillies D.* The Duhem Thesis and the Quine Thesis // *Philosophy of Science* / M. Curd & J. A. Cover. (Eds.) NY, 1988. P. 302-319. Автор приходит к выводу, что тезис Дюгема более корректен, хотя и сформулирован только для физических теорий. Тезис Куайна имеет более широкую область приложения, но менее строг.

³⁰ *Лакатос И.* Доказательства и опровержения. М., 1967.

понятия и определения или ограничена область применения вновь выдвинутой гипотезы. Согласно методологии научно-исследовательских программ Лакатоса, каждая новая теория получается из предыдущей путем добавления ряда уточняющих предположений, объясняющих аномалию.

Второй критический аргумент в адрес попперовской концепции фальсификации был высказан Гемпелем, показавшим, что процедура фальсификации логически противоречива. Опровержение теории возможно только с помощью экзистенциальных предложений, а поскольку предложения о существовании не фальсифицируемы, то они ненаучны.

Подход Лакатоса позволяет преодолеть и это затруднение. В частности, Лакатос считает, что сопоставление теории и эксперимента представляет собой процедуру более сложную, чем казалось с позиции эмпиризма. В процедуру сопоставления включена интерпретация данных, т. е. вспомогательные теории, объясняющие данные приборов и их конструкцию. Поэтому сопоставляются не теория и эксперимент, а конкурирующие теории, так что аномальный пример свидетельствует о несовместимости теорий, а вовсе не опровергает одну из них.

Понятие научности в методологии Лакатоса определяется через понятие прогрессивного роста научной программы, что подразумевает ее плодотворность. При этом эмпирический рост должен опережать теоретический рост: «Данный факт объяснен научно, если вместе с ним объясняется также и новый факт»³¹. Полученный критерий научности Лакатос применяет для определения научного статуса марксизма.

«Делает ли марксизм успешные предсказания какого-нибудь неожиданного нового факта? Ни разу! Он содержит известные неудачные предсказания. Он предсказывал абсолютное обнищание рабочего класса. Он предсказывал, что первая социалистическая революция произойдет в наиболее индустриально развитом обществе. Он предсказывал, что социалистическое общество будет свободным от революций. Он предсказывал, что не будет конфликтов между социалистическими странами. Таким образом, ранние предсказания марксизма были смелыми и великолепными, но они не-

³¹Там же. С. 56.

удачны. Марксисты объяснили все свои неудачи: они истолковали появление рабочих, имеющих высокий уровень жизни, разработав теорию империализма; они даже объяснили, почему первая социалистическая революция произошла в индустриально отсталой России. Они “объяснили” Берлин в 1953-м, Будапешт в 1956-м, Прагу в 1968-м году. Они “объяснили” российско-китайский конфликт. Однако все их вспомогательные гипотезы были состряпаны после событий; марксизм отставал от фактов и бежал изо всех сил, чтобы наверстать упущенное»³².

Таким образом, решающим критерием научности концепции, по мнению Лакатоса, является положительный сдвиг научно-исследовательской программы, или ее предсказательная сила.

Основные критические аргументы, высказанные в адрес критерия научности Лакатоса, направлены на пост-фактичность его подхода. В самом деле, мы не можем в настоящее время определить, какое именно из противоречий между теорией и фактами является «аномалией», а какое может быть приведено в соответствие с теорией с помощью небольших поправок. Стивен Вайнберг описал сложность выделения решающего противоречия, приводя пример аномалии в смещения перигелия орбиты Меркурия в механике Ньютона: «Рассмотрим расхождение между ньютоновской теорией и наблюдаемым движением Меркурия. Даже если мы ничего не знаем об ОТО, разве это расхождение не указывает нам вполне ясно, что что-то неясно с ньютоновской теорией тяготения? Совсем не обязательно. Любая теория вроде ньютоновской теории тяготения имеет такое огромное количество приложений, что все время сталкивается с какими-то экспериментальными аномалиями. Не существует теории, которая не противоречила бы какому-нибудь эксперименту. На протяжении всей своей истории ньютоновская теория Солнечной системы противоречила разным астрономическим наблюдениям. К 1916 г. в число таких расхождений входили не только аномальная прецессия орбиты Меркурия, но и аномалии в движении комет Галлея и Энке, а также в движении Луны. Во всех этих случаях реальное поведение тел не объяснялось ньютоновской теорией. Сейчас мы знаем, что объяснение аномалий в движении комет и Луны не имеет никакого отношения к основам теории тяго-

³² *Lacatos I. Science and Pseudoscience. P. 6.*

тения. Кометы Галлея и Энке ведут себя не так, как следует из вычислений с помощью ньютоновской теории, потому что никто не знает, как правильно учесть в этих вычислениях то давление, которое оказывают газы, вылетающие из ядра движущейся по орбите кометы, когда она нагревается, проходя близко от Солнца. Аналогично, движение Луны очень сложно, так как Луна все-таки довольно большое тело, и поэтому она подвержена влиянию разного рода сложных приливных сил. Оглядываясь назад, мы не должны удивляться, что при применении ньютоновской теории тяготения к этим явлениям возникли расхождения. Кроме того, было несколько предложений, как можно было бы объяснить аномалию в движении Меркурия в рамках ньютоновской теории. Одна из возможностей, серьезно обсуждавшихся в начале века, заключалась в том, что между Солнцем и Меркурием якобы имеется какое-то вещество, слегка искажающее гравитационное поле Солнца. Заметим, что ни одно из расхождений между теорией и экспериментом, образно говоря, не вскакивает, не размахивает флагом и не кричит: «Я самое важное расхождение!» Ученый конца XIX и начала XX вв., критически рассматривавший все данные, не мог с уверенностью прийти к выводу, что в какой-то из известных аномалий в солнечной системе есть что-то особо важное. Нужна была теория, которая могла бы объяснить, какое же из наблюдений важно на самом деле»³³.

Методология научно-исследовательских программ Лакатоса критиковалась также П. Фейерабендом, который высказал следующие замечания. При переходе от одной теории к другой меняется смысл всех основных понятий теории, что приводит к несоизмеримости теорий. Поэтому нельзя говорить о последовательности теорий, а следовательно, и о росте научного знания. Кроме того, из модели Лакатоса нельзя понять логику выбора того или иного факта.

Подводя итоги, заметим, что методологии научно-исследовательских программ Лакатоса недостает того же, чего, по его мнению, нет у марксизма: возможности предсказывать дальнейшее развитие теорий. Требование выделения решающего эксперимента не может применяться в качестве критерия научности, поскольку заключение о том, какой эксперимент был решающим, можно сделать только *post factum*.

³³ *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. Пер. с англ. М.: Едиториал УРСС, 2004. С. 75-76.

1.1.5. Социологический подход Т. Куна

Методология научно-исследовательских программ Лакатоса противостоит социально-психологическим концепциям роста знания. В книге «Структура научных революций» Т. Кун рассматривает механизм развития науки, основанный на социологических понятиях: научное сообщество, конкуренция, парадигма. В «Дополнении 1969 года» Кун признает, что допустил порочный круг, определяя понятия. «Парадигма – это то, что объединяет членов научного сообщества, и, наоборот, научное сообщество состоит из людей, признающих парадигму»³⁴. Он рассматривает науку как деятельность научного сообщества. При этом Кун выделяет периоды развития науки двух типов: нормальную науку и научную революцию. Каждый из периодов характеризуется определенной деятельностью ученых. Кун считает, что в нормальный период «решение головоломки» характеризует науку гораздо более надежно, чем указание на другие более сомнительные свойства, которыми она также может обладать. Данный аргумент критиковался Фейерабендом: «если наличие именно этого свойства характеризует вполне оформившуюся научную дисциплину, то я не вижу, каким образом мы могли бы исключить из числа наук, скажем, организованную преступность»³⁵.

В ходе научной революции происходит смена парадигмы, Кун сравнивает эту смену с «переключением гештальта». Однако в истории науки немало примеров тому, что старая картина мира отмирает только вместе с ее носителями. Следовательно, в среде ученых нет полного единодушия и совпадения мировоззрения, как могло бы показаться из книги Куна.

Подводя итоги, заметим, что социологический подход к проблеме демаркации науки и ненауки, развитый Куном, неприменим в тех случаях, когда лженаука возникает в среде самих ученых в результате ошибки или фальсификации. Надо сказать, что современные авторы, разрабатывающие социологический подход к решению проблемы демаркации науки и лженауки, не преодолели этой трудности. В качестве примера рассмотрим концепцию П. Р. Тагарда.

³⁴ Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975. Ссылка 55.

³⁵ Фейерабенд П. Утешение для специалиста // Избранные труды по методологии науки. М.: Прогресс, 1986. С. 112.

Значение социального аспекта в решении проблемы демаркации
П. Р. Тагард, как и Кун, указывал на значимость социологических аспектов: «Критерий демаркации требует наличие матрицы из трех элементов: теории, сообщества, исторического контекста». ³⁶ Тагард утверждал, что только социальный и исторический аспект позволяют отнести концепцию к псевдонауке. «Рациональность – это не вечное свойство идей: идеи, подобно действиям, могут быть рациональными в одно время, но иррациональными в другое» ³⁷.

Для определения научного статуса теории важно наличие альтернатив: астрология не имела альтернатив во времена Птолемея и Кеплера и в эпоху Ренессанса и поэтому не должна считаться псевдонаукой, даже если она рассматривается псевдонаукой сегодня. По мнению Тагарда, именно наличие конкурирующей теории необходимо для того, чтобы концепция была классифицирована как ненаучная: «Теория или дисциплина, претендующая на звание научной, является псевдонаучной тогда и только тогда, когда:

1. Она менее прогрессивна, чем альтернативная теория в течение длительного периода времени, и сталкивается со многими нерешенными проблемами.

2. Научное сообщество почти не предпринимает попыток развить теорию для решения нерешенных проблем, не проявляет интереса к попыткам развить теорию для решения новых проблем и предпочитает рассматривать ее подтверждения» ³⁸.

Как видно, критерий демаркации Тагарда является попыткой синтезировать подходы Куна и Лакатоса. У первого была заимствована идея общественной значимости критерия научности, а у второго – идея прогрессивного сдвига, т. е. возможности применять теорию для решения новых проблем.

Заметим, что предложенный Тагардом критерий также недостаточен для решения проблемы демаркации науки и ненауки. Контр-примером является, скажем, длительное соперничество кинетической теории газов и теории теплорода, поскольку кинетическая теория

³⁶ *Thagard P. R. Why Astrology is a Pseudoscience? // Philosophy of Science / M. Curd & J. A. Cover. (Eds.) NY, 1988. P. 27-37.*

³⁷ *Ibid.* P. 34.

³⁸ *Ibid.* P. 32.

рия долгое время сталкивалась со многими нерешенными проблемами и, в некоторые периоды, развивалась менее активно.

1.1.6. Позиция П. Фейерабенда: возвращение метафизики в науку

Постпозитивизм признал, что в научной теории присутствуют метанаучные представления о мире. Это означало возвращение метафизики в науку. П. Фейерабэнд подчеркивает важность метафизических представлений в развитии науки: «Попытка получить знание нуждается в руководящих принципах, она не может начаться с ничего. Говоря более конкретно, она нуждается в некоторой теории, точке зрения, позволяющей исследователю отделить существенное от несущественного и подсказывающей ему, в каких областях его исследование будет плодотворным»³⁹.

Критикуя постпозитивизм, П. Фейерабэнд утверждал, что на вопрос о демаркации науки «существует не один, а бесконечно много ответов. Однако почти каждый из них опирается на предположение о том, что существует особый научный метод, т. е. совокупность правил, управляющих деятельностью науки»⁴⁰. Однако, как считал Фейерабэнд, такого метода попросту не существует: «Если спросить ученого, в чем состоит этот мнимый метод, мы получим самые различные ответы, которые показывают, что ученые весьма редко знают, что именно они делают»⁴¹. В конце концов, Фейерабэнд приравнивает науку к мифу, рассматривая ее как своего рода идеологию. Проблема демаркации не исчезла, она уходит на задний план, причем «у П. Фейерабенда она сознательно перечеркнута, ибо он, сведя философию к анализу науки, распространил затем и на анализ науки, и на саму науку те черты, которые до этого аналитики приписали «задемаркационному», а значит, «произвольному» философствованию: они приравнили «традиционную» философию к мифологии, он попытался сделать это и с самой наукой и с анализом ее структуры и развития»⁴².

³⁹ Фейерабэнд П. Утешение для специалиста. С. 114-115.

⁴⁰ Там же. С. 127.

⁴¹ Там же. С. 137.

⁴² Из выступления *Нарского И. С.* См.: Аналитическая философия в XX веке (Материалы круглого стола) // Вопросы философии. 1988. № 8. С. 60.

Итак, в поисках критерия для демаркации науки и лженауки философы использовали и рациональные, и социологические методы. Позитивисты и постпозитивисты сделали много интересных и важных замечаний о ходе развития науки, но удовлетворительный способ отличить науку от лженауки так и не был предложен. Ни одна из попыток построить критерий демаркации обычными методами не увенчалась успехом: любой из признаков, положенный в основу критерия научности, оказывался присущим не только научным теориям, но и ненаучным построениям, что и продемонстрировал в своих работах П. Фейерабенд. Кроме того, согласно некоторым критериям, отдельные элементы научной теории оказывались «ненаучными», как показывает пример философии логического атомизма, отказавшей в научности научным законам. Соответственно, до сих пор не существует удовлетворительного подхода к решению проблемы демаркации, который давал бы критерий, т. е. необходимое и достаточное условие для различения науки и лженауки. Сказанное выше показывает необходимость разработки специального метода построения критериев для таких сложных понятий, как понятие научности.

1.2. Понятие научности как нечеткое понятие

Период перестройки в России вызвал к жизни множество литературы псевдонаучного толка. Появилось большое количество различных организаций, начиная от институтов и кончая академиями, принадлежность которых к науке вызывает сомнения. Вместе с тем и широкие общественные круги, и научное сообщество проявляют терпимость к подобной деятельности. Эта терпимость отчасти основана на нежелании тратить время на недостойных называться учеными, а отчасти вызвана отсутствием уверенности в ненаучности подобных образований. Еще свежи в памяти истории гонений на генетику и кибернетику, поэтому потенциальные эксперты проявляют повышенную осторожность: а вдруг в этом что-то есть, тем более что обещания многих «ученых» звучат весьма обнадеживающе.

Ситуацию могло бы спасти четкое разграничение науки и лженауки, однако такого разграничения попросту не существует: в давние времена была наукой астрология, а многие современные научные теории не находили признания долгие годы. Где же та граница, ко-

торая отделяет науку от других видов знания или незнания? Граница слишком размыта и потому невидима, множество случаев становится уделом конвенции.

Понятие научности является типичным примером нечеткого понятия. Первым философом, указавшим на существование подобных понятий, был Л. Витгенштейн. Он назвал их «понятиями с нечеткими границами». Он же сформулировал основное свойство таких понятий: нет ни одной характеристики, которая была бы присуща всем объектам данного класса без исключения. Значит, какое бы свойство научной теории мы ни указали, всегда найдется несколько научных (и притом вполне признанных) теорий, не обладающих этим свойством.

Витгенштейн считал нечеткими все понятия и предпочитал говорить не о классах предметов, а о семействах. Однако существуют и другие точки зрения. Например, Г. Д. Левин⁴³ предположил, что нечеткие понятия являются не противоположность строгим понятиям, а этапом их становления. При этом объем понятия фиксируется раньше, чем открывается признак, общий всем элементам в данном объеме. Однако переход к строгому понятию не может осуществляться как простое дизъюнктивное обобщение. Следовательно, требуются особые методы, которые позволят перейти от нечетких понятий к точным.

В настоящее время наиболее известным подходом, используемым при работе с нечеткими понятиями, является теория нечетких множеств. Рассмотрим ее подробнее.

1.2.1. Теория нечетких множеств

Основы теории множеств были заложены американским математиком азербайджанского происхождения Л. Заде. Впервые понятие нечеткого множества было введено им в статье «Fuzzy Sets» в 1965-м году⁴⁴. В 1973 году в Нью-Йорке вышла книга, в которой излагались основы теории нечетких множеств, а через три года был сделан ее русский перевод⁴⁵.

⁴³ Левин Г. Д. Метод семейных сходств как форма обобщения // Научное знание: логика, понятия, структура. Новосибирск: Наука, 1987. С. 22-37.

⁴⁴ Zadeh L. A. Fuzzy Sets // Information and Control. 1965. № 8. P. 338-353.

⁴⁵ Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.

Цель этой теории – сделать возможным применение компьютеров и моделирования в области гуманитарного знания. Заде объяснил низкую эффективность вычислительных машин в изучении «гуманистических систем», введя принцип несовместимости – принцип, согласно которому высокая точность несовместима с большой сложностью системы. Поэтому Заде предложил отказаться от высоких стандартов точности и ввел понятие лингвистической переменной. Значениями таких переменных являются не числа, а слова. Последние менее точны, чем числа. Например, лингвистическая переменная **Возраст** может принимать значения **молодой, среднего возраста, не старый, старый** и т. д.

Каждое значение «интерпретируется как название некоторого нечеткого ограничения на базовую переменную **Возраст**, причем смысл этого ограничения, определяется его функцией совместимости»⁴⁶. Понятие совместности отличается от понятия вероятности. То, что совместимость численного значения 28 с лингвистическим значением **молодой** равна 0,7 «не имеет никакого отношения к вероятности того, что значение переменной **Возраст** равно 28. Правильная интерпретация значения совместимости, равного 0,7, состоит в том, что оно есть лишь субъективная мера того, насколько возраст 28 лет соответствует в представлении субъекта слову “молодой”»⁴⁷.

Основная идея теории нечетких множеств заключается в использовании многозначной логики. В обычной теории множеств принадлежность элемента ко множеству описывается характеристической функцией, принимающей два значения: единица, если элемент принадлежит множеству, и ноль, если не принадлежит. В теории нечетких множеств характеристическая функция принимает любое значение из промежутка от нуля до единицы: $0 \leq \mu \leq 1$. «Элемент может принадлежать подмножеству в большей или меньшей степени, и отсюда появляется основное понятие – понятие нечеткого множества»⁴⁸. Все операции: дополнение, объединение, пересечение, произведение множеств определяются аналогично соответствующим понятиям обычной теории множеств.

⁴⁶ Заде Л. Понятие лингвистической переменной... С. 13.

⁴⁷ Там же. С. 14.

⁴⁸ Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. С. 9.

Основное равенство теории нечетких множеств – принцип обобщения. Этот принцип позволяет расширить область определения некоторого отображения или отношения f , определенного в точках, включив в нее наряду с точками произвольные множества. Например, если A – нечеткое подмножество вида

$$A = \mu_1 u_1 + \dots + \mu_n u_n,$$

то принцип обобщения утверждает, что

$$f(A) = f(\mu_1 u_1 + \dots + \mu_n u_n) = \mu_1 f(u_1) + \dots + \mu_n f(u_n).$$

Современная теория нечетких множеств представляет собой хорошо разработанный аппарат, которая позволяет оперировать с нечеткими понятиями и их отношениями. К сожалению, эта теория содержит лишь операторы увеличения нечеткости (см., напр., Л. Заде, с 40) и не может предоставить средств для уточнения понятий. В самом деле, при установлении научности теории мы не можем опираться на «субъективную меру», ибо речь идет об объективных характеристиках теории. Поэтому нам придется отказаться от этого весьма впечатляющего аппарата и обратиться к другим идеям.

1. 3. Разработка метода уточнения нечетких понятий

Витгенштейн предложил использовать для характеристики понятий с нечеткими границами аналогию – семейные сходства. В «Философских исследованиях» Витгенштейн пишет о языковых играх и замечает, что нет такого свойства, которое было бы присуще играм всех видов: «Рассмотрим, например, процессы, которые мы называем “играми”. Я имею в виду игры на доске, игры в карты, с мячом, борьбу и т. д. Что общего у них всех? – Не говори: «В них должно быть что-то общее, иначе их не называли бы “играми”, но присмотришься, нет ли чего-нибудь общего для них всех. – Ведь глядя на них, ты не видишь чего-то общего, присущего им всем, но замечаешь подобия, родство, и притом целый ряд таких общих черт. Как уже говорилось: не думай, а смотри! – Присмотришься, например, к играм на доске с многообразным их родством. Затем перейди к играм в карты: ты находишь здесь много соответствий с первой группой игр. Но многие общие черты исчезают, а другие появляются. Если теперь мы перейдем к играм в мяч, то много общего сохранится, но многое и исчезнет. – Все ли они «развлекательны»? Сравни шахма-

ты с игрой в крестики и нолики. Во всех ли играх есть выигрыш и проигрыш, всегда ли присутствует момент соревновательности между игроками? Подумай о пасьянсах. В играх с мячом есть победа и поражение. Но в игре ребенка, бросающего мяч в стену и ловящего его, этот признак отсутствует. Посмотри, какую роль играет искусство и везение. И как различны искусственность в шахматах и теннисе. А подумай о хороводах! Здесь, конечно, есть элемент развлекательности, но как много других характерных черт исчезает. И так мы могли бы перебрать многие, многие виды игр, наблюдая, как проявляется и исчезает сходство между ними.

А результат этого рассмотрения таков: мы видим сложную сеть подобий, накладывающихся друг на друга и переплетающихся друг с другом, сходств в большом и малом»⁴⁹.

Как правило, мы не имеем четких определений для многих понятий, но мы, тем не менее, можем использовать эти понятия до тех пор, пока нам не требуется более высокая точность для решения какой-либо конкретной задачи. Тогда понятие необходимо уточнить, и Витгенштейн предлагает способ ограничить его объем:

«Как же тогда объяснить кому-нибудь, что такое игра? Я полагаю, что следует описать ему игры, добавив к этому: «Вот это и подобное ему называют “играми”». А знаем ли мы сами больше этого? Разве мы только другим людям не можем точно сказать, что такое игра? – Но это не неведение. Мы не знаем границ понятия игры, потому что они не установлены. Как уже говорилось, мы могли бы – для каких-то специальных целей – провести некую границу. Значило бы это, что только теперь можно пользоваться данным понятием? Совсем нет! Разве что для данной особой цели»⁵⁰.

Однако проведение подобной границы неминуемо влечет за собой уменьшение объема уточняемого понятия. А это может привести к тому, что некоторые игры окажутся отброшенными за рамки понятия «игры». Говоря о понятии научности, вспомним позитивистское требование наблюдаемости, согласно которому в научности отказывали не только некоторым общим научным законам, но и понятиям, предполагавшим существование ненаблюдаемого в то вре-

⁴⁹ Витгенштейн Л. *Философские исследования* // *Философские работы*, ч. 1, М.: Гнозис, 1994. С. 110-111.

⁵⁰ Там же. С. 112.

мя объекта (например, гены стало возможным наблюдать только после изобретения электронного микроскопа).

В непринципиальных случаях мы можем пойти путем, указанным Витгенштейном, и использовать предложенную им прагматическую процедуру определения. Но судьба научной теории, ошибочно причисленной к лженауке, может оказаться трагичной, и поэтому мы должны стремиться к максимально возможной точности. Тогда как же должен строиться критерий для понятия с нечеткими границами? Рассмотрим сначала, как формулируется критерий в случае точно определенного понятия. Примерами таких понятий могут служить математические понятия.

Стандартный критерий формулируется следующим образом: Объект x обладает свойством A тогда и только тогда, когда x обладает свойствами P_1, P_2, \dots, P_k .

Формально этот критерий может быть записан так:

$$A(x) \Leftrightarrow P_1(x) \wedge P_2(x) \wedge \dots \wedge P_k(x)$$

где x – имя определяемого объекта;

A – одноместный предикат;

P_1, P_2, \dots, P_k – некоторые предикаты, описывающие отношения объекта x и принимающие значения 0 или 1 (0 если значение предиката «ложь», 1 если «истина»).

Если понятие не имеет четких границ, то мы не можем требовать, чтобы x с необходимостью обладал всеми перечисленными отношениями. Тогда в формулировке критерия для нечетких понятий конъюнкция отношений заменится на дизъюнкцию:

$$A(x) \Leftrightarrow P_1(x) \vee P_2(x) \vee \dots \vee P_k(x) \quad (1)$$

Для выполнения свойства A необходимо и достаточно, чтобы хотя бы одно условие выполнялось или чтобы хотя бы один предикат P_1, P_2, \dots, P_k был истинным. К сожалению, это условие слишком слабо для наших целей. Дело в том, что некоторые свойства (например, объяснительная сила) могут быть присущи и ненаучным теориям. Однако научная теория обладает большинством этих свойств уже в период становления. Поэтому для разработки эффективного критерия требуется ограничить снизу количество характеристик, которыми должна обладать научная теория (число предикатов, имеющих значение «истина»).

Обозначим через m минимальное количество свойств или отношений, которыми должен обладать объект x для того, чтобы мы могли сказать: « x имеет свойство A ».

Учитывая что $P(x)=1$, если $P(x)$ – истинно и $P(x)=0$, если $P(x)$ – ложно, запишем формально ограничение на количество свойств:

$$P_1(x) + P_2(x) + \dots + P_k(x) \geq m \quad (2)$$

где $1 \leq m \leq k$. В частности, при $m=k$ мы получаем формулу (*), а при $m=1$ получаем формулу (1).

Таким образом, условие (2) позволяет отбросить объекты, имеющие слишком мало требуемых характеристик. Теперь « x имеет свойство A » если x обладает не менее чем m свойствами. При этом чем больше значение m , тем жестче границы.

В действительности часто оказывается, что наличие одних свойств более существенно, чем наличие других. Чтобы это пояснить рассмотрим следующий пример.

В число требований, предъявляемым к научным теориям, входят требования логической непротиворечивости и эмпирической подтверждаемости.

Если проверяемая теория является естественнонаучной, то требование эмпирической подтверждаемости является более важным, чем непротиворечивость. Требование логической непротиворечивости в естественных науках не столь важно, так как возникающие противоречия могут быть исправлены с помощью выдвижения дополнительных предположений. Однако если речь идет о математической теории, то требование логической непротиворечивости является необходимым.

Таким образом, нам требуется приписать веса нашим предикатам, чтобы учесть степень значимости свойства. Эти веса мы обозначим b_i , где $0 \leq b_i$. Они позволяют отразить степень значимости того или иного признака для объектов данного вида.

$$b_1 * P_1(x) + b_2 * P_2(x) + \dots + b_k * P_k(x) \geq m \quad (2')$$

где b_i такие, что $0 \leq b_i$.

В окончательном виде критерий для нечетких понятий, построенный по правилу семейных сходств, формально записывается формулами (2) и (2').

Далее чтобы приведенные рассуждения можно было использовать для построения критерия научности, требуется установить перечень свойств или отношений (предикатов P_k), которыми должна обладать научная теория. Следующая глава данной книги посвящена поиску и определению существенных характеристик научной теории.

Глава 2. СУЩЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ

2.1. Методы поиска существенных свойств

Мы будем опираться на свойство нечетких понятий, установленное Витгенштейном, и искать одно за другим «подобия», то есть характеристики, которые имеются не у всех научных теорий, но у большинства из них. Мы получим целую «сеть подобий», иначе говоря, список таких признаков, которые встречаются у научных теорий не с необходимостью, но как правило.

Научные теории обладают множеством свойств и характеристик. Наша задача – выделить из них существенные для определения статуса проверяемой теории. Типичным методом сбора и обработки информации является метод индукции Бэкона-Милля. Кратко опишем суть этого метода, его достоинства и недостатки.

2.1.1. Метод индукции Ф. Бэкона

В работе «Новый Органон» (1857-1874 гг.) Френсис Бэкон заложил основы нового метода индукции, позволявшего упорядочить известные свидетельства, проанализировать их и прийти к правильному заключению. Свой труд Бэкон начал с критики метода индукции через простое перечисление, утверждая, что она «есть нечто детское, так как дает шаткие заключения, подвержена опасности от противоречащего примера, взирает только на привычное и не приводит к результату»⁵¹. Простое перечисление фактов без рассмотрения контрпримеров может привести только к необоснованным предположениям, а очень часто приводит просто к неверным заключениям.

Бэкон пытается предложить метод, позволяющий прийти к выводам с необходимостью. Этот метод основан на упорядочивании фактов, или примеров, если говорить языком Бэкона. Примеры объединяются в таблицы, после чего к ним применяется «истинная индукция». В первой таблице объединяются примеры, имеющие сход-

⁵¹ Бэкон Ф. Великое восстановление наук // Сочинения в 2 тт. М.: Мысль, 1977. Т. 1. С. 72.

ство в каком-либо отношении (таблица сущности и присутствия). Во второй таблице приводятся примеры, обнаруживающие различия в том же самом отношении для тел, наиболее близких к упомянутым в первой таблице (таблица отклонения или отсутствия в ближайшем). В третьей таблице приводятся примеры, в которых данное качество присутствует в большей или меньшей степени (таблица степеней, или сравнений). Цель составления трех данных таблиц заключается в представлении примеров.

Затем к этим примерам применяется истинная индукция; ее первый шаг состоит в отбрасывании случайных признаков, не встречающихся в примерах присутствия или встречающихся в примерах отсутствия. В результате «после отбрасывания и исключения, сделанного должным образом (когда все легковесные мнения обратятся в дым), на втором месте (как бы на дне) останется положительная форма, твердая, истинная и хорошо определенная»⁵². После отбрасывания, на основе таблиц проводится истолкование, направленное на выявление общего. При этом одни примеры оказываются более убедительными и ясными, чем другие. По результатам истолкования составляется новая таблица, собирающая *преимущественные примеры*. Они помогают выявить сокрытую природу явлений и способствуют обобщению. Далее Бэкон проводит ряд шагов, цель которых – очистить исследование от возможных заблуждений: исправление индукции, изменение исследования, определение пределов исследования.

Приведем некоторые критические аргументы в адрес представленного метода. Во-первых, несмотря на все предосторожности, соблюдаемые при применении метода индукции Бэкона, группировка в исходные таблицы часто производится по поверхностным свойствам. Например, исследуя природу теплоты, в первую таблицу «примеров, сходящихся в природе тепла» Бэкон объединяет следующие совершенно различные вещи: «солнечные лучи, особенно летом и в полдень»; «все мохнатое, как, например, шерсть, шкуры животных, оперения»; «негашеная известь, смоченная водой»; «конский навоз и вообще свежие испражнения животных»; «крепкий и хорошо очищенный винный спирт, выполняющий действие

⁵² Бэкон Ф. Новый органон // Сочинения в 2 тт. М.: Мысль, 1977. Т. 2. С. 109.

тепла»; «сильный и острый холод, также приносящий некое ощущение жжения»⁵³. Мы видим, что полученный список будет не только не полным, но и содержащим случайные сходства, а значит, он потребует дополнительного анализа. Такой анализ должен быть основан на привлечении дополнительных соображений, неизбежно содержащих ценностные предпочтения, а значит, будет привнесен элемент субъективизма. Кроме того, могут оказаться упущенными значимые примеры, так как их выявление требует более глубокого рассмотрения.

Во-вторых, представленный метод не согласуется с идеей нечетких понятий, поскольку Бэкон требует отбрасывания «отдельных природ, которые не встречаются в каком-либо примере»⁵⁴. В результате некоторые правильные результаты его метода оказываются отброшенными: «То, что мы сказали здесь о движении (а именно что оно является как бы родовым понятием для тепла), не надо понимать в том смысле, будто тепло рождает движение или движение рождает тепло»⁵⁵. Правильный вывод о взаимопревращениях теплоты и работы был отвергнут Бэконом именно на основании того, что данное явление наблюдалось не во всех случаях. Имея это в виду, мы вынуждены искать другой метод выявления существенных характеристик нечетких понятий.

2.1.2. Изменение статуса научной теории

В истории науки имеется несколько ярких примеров, когда одна научная теория вытеснялась другой. Устаревшая теория хотя и не становилась лженаучной, но теряла статус научной теории. Анализ подобных случаев позволит выявить именно те характеристики, появление или исчезновение которых сопровождается изменением статуса научной теории. В нашем подходе сочетаются три метода – логический анализ, исторический анализ и метод сравнения. Логический анализ позволяет выявить наличие ряда характеристик у исследуемых теорий; исторический анализ дает возможность проследить эволюцию выявленных характеристик во времени; сравнение характеристик научной теории до и после приобретения (или утра-

⁵³ Бэкон Ф. Новый органон. С. 88-90.

⁵⁴ Там же. С. 109.

⁵⁵ Там же. С. 114.

ты) ею научного статуса позволяет определить те свойства, утрата или недостаточность которых дает основания классифицировать теорию как научную.

Применение упомянутых методов позволит выделить те черты, которые являются существенными для характеристики науки, и затем определить, что понимается под научной теорией. Причиной выбора «устаревших» теорий является возможность провести сравнение двух «состояний» одной и той же теории: до того, как она была признана научной, и после ее признания, и нашей задачей будет поиск изменений в составе характеристик теории в момент изменения ее статуса.

Ниже мы будем исследовать случаи замещения одной научной теории другой, более новой, и особое внимание обратим на те характеристики, которые позволили предпочесть одну теорию другой. Мы будем рассматривать теории, оказавшие наиболее существенное влияние на развитие науки, и попытаемся понять, почему ученые отказались от теории Птолемея, вещественной теории теплоты и модели атома Томпсона.

Установив причины отказа от этих теорий, мы составим список свойств или характеристик, которыми должна обладать научная теория, чтобы выдержать конкуренцию со стороны других теорий. Мы считаем, что свойства, утрата которых ведет к изменению статуса научной теории, являются существенными для всех научных теорий, поэтому и вновь выдвигаемые научные теории должны ими обладать.

2.2. Анализ примеров смены научных теорий

2.2.1. Теория Птолемея и Коперниканская революция в астрономии⁵⁶

Геоцентрическая теория Птолемея

Основные положения теории Птолемея изложены в математическом сочинении Клавдия Птолемея «Альмагест», которое написано во II в. н. э. Этот труд оказал огромное влияние на развитие астрономии, а в IV–V вв. появилось множество комментариев к «Альма-

⁵⁶ Часть этого текста была опубликована в виде статьи: *Сторожук А. Ю.* Теория Птолемея и Коперниканская революция в астрономии // *Философия: история и современность* 2004–2005. Омск: Изд-во ОГУ, 2005. С. 41–60.

гесту», написанных представителями Александрийской школы. После закрытия Афинской академии в 529-м г. греческие ученые были вынуждены переселиться в страны Востока, что способствовало широкому распространению «Альмагеста» в Персии, Сирии и исламских странах. Во второй половине XII в. текст перевели на латинский язык, что сделало его доступным ученым средневековой Европы.

Свой труд Птолемей начинает с обоснования главных предположений, лежащих в основе геоцентрической модели. Следуя аристотелевскому делению теоретической философии на три части (физику, математику и теологию), Птолемей приходит к выводу о том, что только математика способна дать обоснованное знание. «Два другие раздела теоретической философии скорее можно назвать как бы гаданием, а не научным познанием; теологическую – потому что она трактует о вещах невидимых и не могущих быть воспринятыми, физическую же – вследствие неустойчивости и неясности материальных форм; вследствие этого нельзя даже надеяться, что относительно этих предметов можно будет добиться согласия между философами. Одна только математическая часть, если подходить серьезно к ее исследованию, доставляет занимающимся ею прочное и надежное знание, ибо она дает доказательства, идя двумя путями, с которых невозможно сбиться: арифметическим и геометрическим»⁵⁷.

Птолемей, вслед за Аристотелем, предполагает, что планеты совершают круговое движение, которое «первичнее прямолинейного, поскольку оно проще и более совершенно»⁵⁸. Кроме того, круговое движение вечно, а прямолинейное «несовершенно и преходяще. А совершенное первичнее несовершенного и по природе, и по определению, и по времени, так же как непреходящее [первичнее] подверженного гибели. Далее, то, что может быть вечным, первичнее того, которое не может им быть; и вот, движение по кругу может быть вечным, из других же (видов движения) ни перемещение, ни какое-либо иное не может, так как должна наступить остановка, а остановка есть исчезновение движения»⁵⁹.

⁵⁷ Птолемей К. Альмагест: Математическое сочинение в тринадцати книгах / Пер. с древнегреч. И. Н. Веселовского. М.: Наука, 1998. С. 6.

⁵⁸ Аристотель. Физика. V, 8.

⁵⁹ Там же.

В основе модели Птолемея находилось учение Аристотеля о небесных сферах. Согласно этому учению, неподвижная Земля помещалась в центр Вселенной, поэтому модель Птолемея носит название *геоцентрической модели*. Вокруг Земли располагались концентрические хрустальные сферы, на которых находились планеты: «В качестве общего положения мы должны принять, что небо имеет сферическую форму и движется подобно сфере, затем, что Земля имеет также вид сферы, если ее рассматривать во всей совокупности ее частей. По своему положению она расположена в середине неба, являясь как бы его центром. По величине же и расстоянию относительно сферы неподвижных звезд она является как бы точкой и не имеет никакого движения, изменяющего место»⁶⁰.

Птолемей исследует источник представлений о движении светил и приходит к выводу, что в основе лежат чувственные данные: «Первое представление об этих предметах, несомненно, получилось у древних в результате соответствующих наблюдений. Они видели, что Солнце, Луна и остальные светила движутся с востока на запад и всегда по кругам, параллельным друг другу... Представлению о сферичности их движения больше всего способствовало наблюдение кругового движения незаходящих звезд, совершающегося всегда вокруг одного и того же центра»⁶¹. На основе вышеизложенных представлений объяснялись все наблюдаемые явления, например, разница в расстояниях, проходимых звездами, которые отстоят на разное расстояние от полюса небесной сферы.

Птолемей также анализирует другие возможные представления о взаимном движении Земли и небесной сферы и опровергает их. Он, в частности, доказывает, что Земля не может совершать никакого поступательного движения в какую-либо сторону, так как в этом случае ей пришлось бы отклониться от центрального места, занимаемого ею в мире. Предположение, что Земля не является центром мира, противоречит данным наблюдения: «если не предположить, что Земля находится в середине, то уничтожится полностью весь порядок, усматриваемый нами в увеличениях и уменьшениях дней и ночей. Кроме того, и лунные затмения не могли бы иметь место во всех частях неба при диаметрально противоположных положениях [Луны и] Солнца, поскольку Земля часто оказывалась бы меж-

⁶⁰ Птолемей К. Альмагест. С. 7.

⁶¹ Там же.

ду ними не только во время их диаметральных прохождений, но и при расстояниях, меньших полуокружности»⁶².

Кроме того, Земля не может двигаться, так как она, будучи центром мира, со всех сторон окружена однородной средой «и со всех сторон встретила бы равные и одинаково направленные противодействия»⁶³. Таким образом, Земля не имеет оснований для движения в одном из направлений больше, чем в другом и, следовательно, покоится. «Земля покоится вследствие одинаковости [всех направлений], так необходимо покоиться и в пустоте, ибо нет оснований двигаться сюда больше, сюда меньше: поскольку это пустота, в ней нет различий»⁶⁴.

Третий аргумент в пользу неподвижности Земли основан на наблюдениях за падением тяжелых тел, которые всегда падают перпендикулярно к земной поверхности. Эти тела движутся к центру Земли и действуют одинаково со всех сторон на поверхность Земли: «вполне естественно получается, что вся масса Земли, будучи очень большой по отношению к падающим на нее телам, под действием напора значительно меньших тяжестей остается всюду неподвижной и как бы принимает все падающие на нее. Но если бы у Земли было какое-нибудь движение, общее с другими тяжелыми телами, то она, конечно, унеслась бы вперед вследствие такой превосходящей массы. Животных и находящихся с соответствующей стороны тяжелые тела она оставила бы плавающими в воздухе, а сама в конце концов с громадной скоростью врезалась бы в небо. Но все это, если только вообразить, кажется нам очень смешным»⁶⁵.

Сформулировав, таким образом, доводы против признания возможности поступательного движения Земли, Птолемей также отрицает возможность вращательного движения Земли. Его возражения направлены против точки зрения, согласно которой можно рассматривать не обращающееся вокруг Земли небо, а Землю, вращающуюся вокруг оси с запада на восток при неподвижном небе. Аргумент Птолемея сводится к тому, что такое предположение противоречит данным наблюдения: «если ограничиться наблюдаемыми у звезд явлениями, то, пожалуй, ничто не будет препятствовать такому

⁶² Там же. С. 11.

⁶³ Там же. С. 12.

⁶⁴ *Аристотель*. Физика. IV, 8.

⁶⁵ *Птолемей К.* Альмагест. С. 13.

простейшему предположению, но подобное мнение покажется нам смешным, если мы обратим внимание на совершающееся вокруг нас самих и в воздухе. Действительно, чтобы согласиться с ними, мы должны предположить совершенно противное природе, а именно, что легчайшие и состоящие из наиболее тонких частиц тела или совсем не движутся, или движутся так же, как и тела противоположной природы, хотя [на самом деле] тела, находящиеся в воздухе и состоящие из менее тонких частиц, движутся гораздо быстрее, чем все более земные тела. И [тогда мы должны предположить, что] самые тяжелые и состоящие из грубейших частиц тела будут иметь собственное быстрое и равномерное движение, между тем как все согласны, что земные тела никогда легко не поддаются движениям, сообщаемым им другими телами. В таком случае пришлось бы согласиться, что вращение Земли совершается значительно быстрее всех происходящих вокруг нее движений, так как она делает такой большой оборот в короткое время, и что все не закрепленные на ней предметы должны казаться совершающими одно и то же движение, [по направлению] противоположному земному. Таким образом, мы никогда не могли бы видеть какое-нибудь идущее к востоку облако или брошенное в том же направлении тело, так как Земля в своем движении к востоку всегда опережала бы все тела»⁶⁶.

Птолемей рассматривает также возможность совершения воздухом кругового движения вместе с Землей и отвергает такую возможность, как противоречащую наблюдениям. Ведь если бы тела вращались вместе с воздухом, то они были бы неподвижны друг относительно друга и никакое тело не смогло бы опередить другое или изменить свою траекторию. Таким образом, умозрительные рассуждения, выведенные из предположения о вращении или поступательном движении Земли, оцениваются Птолемеем как противоречащие наблюдаемым явлениям. Поэтому Птолемей считает наиболее обоснованной гипотезу о неподвижной Земле, помещенной в центре мира.

В рамках модели Птолемея видимое движение планет и звезд на небосводе объяснялось вращением хрустальных сфер. Каждая планета в отличие от материальных тел считалась идеальной, вечной, неподверженной изменениям. Поскольку планеты считались иде-

⁶⁶ Птолемей К. Альмагест. С. 13.

альными, а идеальной фигурой являлся круг, постольку планетам предписывалось совершать круговые движения. Изложив основные гипотезы и дав им предварительное умозрительное обоснование, Птолемей перешел к разработке строгой и точной математической теории, которая находится «в полном согласии с наблюдаемыми явлениями»⁶⁷.

Хотя теория Птолемея рисовала гармоничную картину, видимое движение планет было далеко не идеальным, а включало в себя две существенные нерегулярности. Во-первых, скорость перемещения планет по небосводу была неравномерной. Во-вторых, планеты совершали то прямые, то обратные движения (выделяли петли). Таким образом, геоцентрическая теория не соответствовала данным наблюдения. Птолемею предстояло описать полную картину движения небесных тел, которая должна была соответствовать данным наблюдений. Чтобы достичь соответствия с видимым движением, Птолемей использовал идею Гиппарха о том, что движение каждой планеты складывалось из нескольких круговых движений. Дифференцы являются большими кругами с центром на Земле, а эпициклы – круги меньшего диаметра, центры которых равномерно перемещаются по окружностям дифференцов. Солнце, Луна и планеты перемещаются по окружностям своих собственных эпициклов. Согласно этой теории, движение планеты вокруг Земли можно представить как сумму двух движений: планета вращалась по кругу, называемому эпициклом, а центр эпицикла в свою очередь совершал движения вокруг Земли по кругу большего радиуса.

Птолемей провел множество наблюдений и рассчитал размеры орбиты, а также скорости движения планет в своей модели как для эпицикла, так и для дифферента. При этом ему потребовалось ввести понятие экванта – точки, расположенной на диаметре дифферента, проходящем через Землю. Птолемей столкнулся со многими трудностями, связанными с наличием прецессии – медленного смещения сферы неподвижных звезд, а также с необходимостью учитывать угол наклона плоскости эпицикла к плоскости дифферента.

Одной из важных задач астрономии, имеющей огромное практическое значение, является установление правильного календаря.

⁶⁷ Птолемей К. Альмагест. С. 14.

Поэтому Птолемею важно было определить продолжительность года: «Время возвращения Солнца к точкам равноденствий и солнцеворотов оказалось меньшим 365 дней с четвертью. Время, определяемое при помощи наблюдений неподвижных звезд, больше указанного»⁶⁸. Кроме того, Птолемей обсуждает также «неравенство» суток и трудность определения времени, обусловленные неравномерностью движения Солнца. Именно необходимость реформы календаря привела, спустя почти тысячу лет, к появлению новой геоцентрической модели.

Тем не менее, теория Птолемея давала хорошее, по тем временам, совпадение теоретических предсказаний с данными наблюдений. Однако уже в XIII в. требования к точности астрономических предсказаний возросли и приходилось вводить добавочные эпициклы, чтобы согласовать теорию с наблюдением, а это чрезмерно усложняло и без того достаточно громоздкие расчеты.

Итак, Птолемей при разработке своей теории широко пользовался математическими методами и данными наблюдений. Особенно тщательно он работал над точностью предсказаний, выводимых из его теории. Наряду с научными (с современной точки зрения) методами, Птолемей использовал и умозрительные рассуждения, особенно в самом начале построения модели при обосновании неподвижности Земли. Но кроме сугубо логических принципов, таких как принцип достаточного основания, Птолемей в своих аргументах ссылается и на чувственные данные, т. е. его рассуждения о неподвижности Земли не являются исключительно умозрительными.

Гелиоцентрическая модель Коперника

В середине XV в. наступает эпоха великих географических открытий и для мореплавания требуется улучшения астрономических приборов с целью ориентировки в океане. Сохранение верности античным представлениям не позволяло астрономам точно вычислять действительные движения небесных тел. В эпоху Возрождения Европа остро нуждалась в более совершенном календаре, и Церковь, которой календарь был необходим для определения дат богослужений, взялась провести его реформу.

В 1514-м г. папа Лев X поставил вопрос о реформе календаря. Постановка данного вопроса была обусловлена тем, что правила

⁶⁸ Птолемей К. Альмагест. С. 75.

определения даты Пасхи, сформулированные в 325 г. Никейским вселенским собором, оказались невыполнимыми, так как они были разработаны для средней продолжительности года в 365 дней с четвертью, что давало ошибку в полтора часа за девятнадцать лет. На протяжении веков из-за неправильно установленной длительности астрономического года возникла разница в несколько дней. Так, например, дата весеннего равноденствия с 21-го марта передвинулась на 12-е марта. Вычисления фаз луны также вели к ошибке в несколько дней.

Копернику поручили дать папству совет по данному вопросу, однако запутанное положение дел в астрономической науке не позволяло провести хоть сколь-нибудь действенную реформу. Коперник пришел к выводу, что классическая астрономия содержит в себе какую-то существенную погрешность⁶⁹. Поэтому Коперник начал тщательные астрономические наблюдения, чтобы правильно определить длительность года. «Во избежание новой путаницы необходимо было знать с большей точностью движения Солнца и Луны, а также продолжительности тропического года и синодического месяца; поэтому немедленное проведение реформы он считал преждевременным»⁷⁰.

Однако понимание несовершенства существующей космологии само по себе не позволило бы Копернику прийти к новой космологии. Свою роль сыграло его знакомство с трудами пифагорейцев и платоников, которые выдвигали предположения о движении Земли, хотя никто из них не подкрепил эту гипотезу астрономическими или математическими методами⁷¹.

Поскольку в тот период считалось, что Земля покоится в центре мира, Коперник начал аргументацию с формулировки принципа, развитого позднее в принцип относительности: «всякое представляющееся нам изменение места происходит вследствие движения наблюдаемого предмета или наблюдателя или, наконец, вследствие неодинаковости перемещений того и другого, так как не может быть замечено движение тел, одинаково перемещающихся по от-

⁶⁹ *Тарнас Р.* История западного мышления. М.: КРОН-ПРЕСС, 1995. С. 209.

⁷⁰ *Михайлов А. А.* Николай Коперник. Биографический очерк // *Коперник Н.* О вращениях небесных сфер. М.: Наука, 1964. С. 479.

⁷¹ *Тарнас Р.* История западного мышления. С. 209.

ношению к одному и тому же»⁷². Из этого принципа следует, что если приписать Земле какое-нибудь движение, то все, что находится вне Земли, будет казаться движущимся в противоположном направлении: восходы и заходы Солнца, Луны и звезд будут происходить точно также. Заметим, что Птолемей также обсуждал такую возможность, но отверг ее на основании того, что на самой Земле, несущейся с огромной скоростью, наблюдаемые явления должны происходить совершенно иначе: тела при падении должны отклоняться в направлении вращения; атмосфера, отставая, должна создавать сильный ветер и т. д.

Для опровержения аргументов Птолемея Коперник использует аналогию с движением корабля: «при движении кораблю в тихую погоду все находящееся вне представляется мореплавателям движущимся, как бы отражая движения корабля, а сами наблюдатели, наоборот, считают себя в покое со всем с ними находящимися»⁷³. Отметим, что та же самая аналогия ляжет в основу понятия инерциальной системы отсчета, позднее разработанного Галилеем. Приведенное рассуждение дает Копернику основание утверждать, что и облака, и прилегающий к Земле воздух, и вода имеют «приобретенное движение, которое сообщается... прилегающей Землей в постоянном вращении и без всякого сопротивления»⁷⁴. Поэтому и окружающий нас воздух кажется нам покоящимся. Однако отстоящая далеко от Земли твердь небесного свода лишена вращательного движения Земли.

Заметим, что в аргументации Птолемея обращение к очевидным фактам происходило более непосредственно. Подход Коперника скорее теоретический, в основе его рассуждений лежат принципы или постулаты, а само построение производится на основе логических рассуждений. Логику использует Коперник и для опровержения птолемеевского предположения о вращении небес: если бы небо вращалось с огромной скоростью, то под действием центробежной силы «размеры неба непременно увеличивались бы до бесконечности... Таким образом, скорость будет увеличивать размеры, а размеры – увеличивать скорость, и то и другое взаимно увеличат друг друга до бесконечности. А вследствие известной физической

⁷² Коперник Н. О вращениях небесных сфер М.: Наука, 1964. С. 22.

⁷³ Коперник Н. О вращениях небесных сфер. С. 28.

⁷⁴ Там же.

аксиомы, что бесконечное не может быть ни пройдено, ни каким-либо образом приведено в движение, небо необходимо остановить»⁷⁵.

Показав несостоятельность доводов Птолемея, Коперник рассмотрел возможное местоположение Земли. Существовал целый ряд явлений, которые не поддавались объяснению в рамках теории Птолемея, например передвижения планет вперед и вспять относительно неподвижных звезд, изменение их яркости. «Солнце и Луна движутся то быстрее, то медленнее, а остальные пять планет, как мы видим, движутся иногда и попятным движением, кое-где останавливаясь»⁷⁶. И Коперник приходит к выводу, что для объяснения данных неравномерностей необходимо предполагать либо то, что центры планетных орбит различны, либо что Земля не находится в центре кругов, по которым они вращаются.

Известно, что традиционно Земля считалась центром мира. Коперник снова использует провозглашенный им «принцип относительности» для опровержения этой точки зрения: «поскольку планеты наблюдаются и более близкими к Земле и более удаленными, то это необходимо говорит о том, что центр Земли не есть центр их кругов. Ведь никак не установлено, Земля ли к ним подходит и уходит или они приближаются к ней и удаляются. Не удивительно также, если кто-нибудь кроме упомянутого суточного вращения предположит у Земли и какое-то другое вращение»⁷⁷.

Если Земля совершает иные движения, то эти движения должны быть аналогичными движениям других планет. А поскольку планеты имеют годовое вращение, то и Земля должна обладать годовым вращением. И если приписать движение Земле, а Солнцу неподвижность, то последнее сможет занимать центр мира. Что касается порядка планет, то для решения этого вопроса Коперник использовал данные о длительности годового обращения. Поскольку «размеры орбит измеряются величиной времени обращения», постольку он смог определить порядок планет по их расстоянию от Солнца.

Коперник, следуя Аристарху Самосскому, сформулировал положение, что все сферы вращаются вокруг Солнца, однако, чтобы создать теорию, на основе которой можно было производить вычисле-

⁷⁵ Там же. С. 27.

⁷⁶ Коперник Н. О вращениях небесных сфер. С. 21.

⁷⁷ Там же. С. 23

ния, нужно было учитывать движение Земли. Согласно теории Коперника, Земля участвует в трех вращениях: вращении центра Земли вокруг Солнца в плоскости эклиптики; вращении Земли вокруг оси, перпендикулярной к плоскости эклиптики; вращении Земли вокруг собственной оси, перпендикулярной к плоскости земного экватора, которая составляет неизменный угол с плоскостью эклиптики. Коперник произвел математические вычисления, призванные подтвердить его гипотезу, и получил систему, которую он считал более доказательной, чем система Птолемея. В частности, он предложил новый порядок расположения планет, из чего следовал простой ответ на так и не разрешенную загадку: почему Венера и Меркурий всегда появляются вблизи Солнца.

Поскольку задачей нашего рассмотрения является выделение существенных характеристик, сопутствующих успеху теории, сошлемся на оценку гелиоцентрической модели Галилеем. Он подчеркнул, что следует отметить логическую строгость и красоту системы Коперника. В частности, Галилей писал: «Главная цель чистых астрономов состоит только в том, чтобы дать объяснение явлениям, происходящим с небесными телами, и приспособить к ним и к движениям звезд такие структуры и комбинации кругов, чтобы вычисленные движения по ним соответствовали этим явлениям; при этом их мало заботит, если приходится прибегать к какой-нибудь нелепой гипотезе, которая на самом деле в других отношениях создает затруднения. И сам Коперник пишет, что он в первых своих работах пытался построить астрономическую науку на тех же самых предположениях Птолемея и так исправил движения планет, что вычисления довольно точно соответствовали явлениям, а явления – подсчетам, если, однако, брать в отдельности планету за планетой. Но он добавляет, что когда он пожелал создать целое построение из отдельных частей, то получилась чудовищная химера, составленная из членов, совершенно непропорциональных и несовместимых друг с другом, так что, если последние до некоторой степени и удовлетворяли чистого астронома-вычислителя, то не доставляли ни удовлетворения, ни покоя астроному-философу. И так как он очень хорошо понимал, что если ложными по природе допущениями можно объяснить небесные явления, то еще лучших результатов можно достигнуть, исходя из правильных предположений, он начал прилежно искать, не приписывал ли кто-нибудь из знаме-

нитых мужей древности миру иную структуру, чем обычно принимаемая птолемеева, и найдя, что некоторые пифагорейцы приписывали Земле, в частности, суточное обращение, а другие даже и годовое движение, он начал сопоставлять с этими двумя новыми предпосылками явления и особенности движения планет, т. е. то, что он мог быстро иметь под руками; увидев, что целое с удивительной легкостью согласуется со своими частями, он принял эту новую систему и в ней нашел удовлетворение»⁷⁸.

Итак, система Коперника основана в основном на математических расчетах и логических аргументах. Хотя соответствие видимым явлениям по-прежнему играло важную роль, но превалирующее значение в обосновании движения Земли получают абстрактные принципы. В частности, Коперник формулирует принцип, развитый Галилеем в принцип относительности, и высказывает идею, которая привела Галилея к разработке понятия инерциальной системы отсчета. Заметим также, что к особым достоинствам новой модели многие современники относили ее логическую стройность. Таким образом, можно сделать вывод: теория Коперника является более абстрактной, чем теория Птолемея, а данные опыта частично уступают место абстрактным обобщениям.

Дальнейшее развитие гелиоцентрической модели

Теория Коперника получила дальнейшее развитие в 1609 г., когда вышел трактат Кеплера «*Astronomia Nova*». В этом труде содержались формулировки первых двух законов, в силу которых «использование прежних понятий об эпициклах и эксцентрических орбитах стало излишним, и теория Коперника засверкала во всем блеске своей простоты»⁷⁹. Кроме укрепления теоретических основ, становлению новой теории способствовало также то, что старая теория теряла авторитет. Этот процесс связан с трудностями, которые претерпевало аристотелевское мировоззрение под давлением новых данных наблюдений. Примером может служить взрыв сверхновой звезды в созвездии Змееносца 28 октября 1604 г. «Появление «нового светила» (*nova*) поставило в трудное положение (как это случи-

⁷⁸ Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира: птолемеевой и коперниковой // Избранные труды в 2 тт. Т. 1. М.: Наука, 1964. С. 436. Впервые был опубликован на итальянском в 1632 г., а через год на Галилея был наложен обет молчания.

⁷⁹ Там же. С. 88.

лось и ранее, в 1572 г.) всех сторонников аристотелевского учения о совершенстве и неизменности природы небесных тел»⁸⁰. Этот факт противоречил положению Аристотеля о нетленности неба. В самом деле, Аристотель пишет: «все возникающее образуется из противоположности в каком-нибудь объекте и равным образом уничтожается в каком-нибудь объекте из противоположности в противоположность, так что... возникновение и разрушение существуют только при наличии противоположностей; но у противоположностей противоположны и движения; значит, если небесному телу нельзя приписать противоположность, так как круговому движению никакое другое движение не противоположно, то, следовательно, природа прекрасно поступила, избавив от противоречий то, что должно быть и невозникающим и не уничтожающимся. Раз установлено это первое основание, то из него с легкостью следует, что небо нерасширяемо, неизменно, непреходяще и, наконец, вечно»⁸¹.

Чтобы согласовать факты появления новых звезд с утверждением Аристотеля о неизменности небес, сторонник птолемеевой системы – астроном Киарамонти – проводит ряд выкладок, которые демонстрируют, «что новая звезда 1572-го г., появившаяся в Кассиопее... находится ниже лунной орбиты»⁸². Галилей проверил эти выкладки и предъявил ряд возражений. Он сомневается в репрезентативности выборки, говоря, что измерения положения новой звезды были отобраны произвольно – Киарамонти взял только 12 измерений из многих десятков. Кроме того, среди многих подсчетов, произведенных Киарамонти, нет даже двух одинаковых, следовательно, автор не заслуживает доверия: «самое большее, что можно было бы сказать и что я сказал бы, – это что, может быть, один какой-нибудь результат и верен, но я не знаю, какой выбрать»⁸³.

Для опровержения вывода о том, что сверхновая звезда расположена ниже Луны, Галилей разрабатывает более точные методы расчетов и обработки результатов, а также новые критерии оценки правильности проделанных наблюдений: «раз новая звезда не может быть во многих местах, а должна находиться в одном единст-

⁸⁰ *Фантоли А.* Галилей: В защиту учения Коперника и достоинства Святой Церкви. М.: Мик, 1999. С. 67.

⁸¹ *Галилей Г.* Диалог о двух главнейших системах мира. С. 135.

⁸² Там же. С. 377.

⁸³ Там же. С. 378.

венном месте, то всякий раз, когда вычисления, сделанные по наблюдениям этих астрономов, не помещают ее в то же место, необходимо признать, что произошла ошибка в наблюдениях, или при определении высоты полюса, или при определении высоты звезды, или при каком-либо другом действии. Но так как из множества исследований, сделанных посредством попарной комбинации наблюдений, лишь очень немногие помещают звезду в одно и то же место, то, значит, лишь эти немногие могут быть признаны правильными, все же другие обязательно содержат ошибки»⁸⁴.

Далее Галилей разрабатывает новую технику обработки результатов. Поскольку при определении высоты полюса посредством одного и того же инструмента, в одном и том же месте одним и тем же наблюдателем всегда получается отклонение в пределах минуты, а часто и нескольких минут, то следует вносить поправки в наблюдения. Таким способом можно смягчить явную ошибку и исправить быющую в глаза невозможность какого-нибудь наблюдения просто прибавлением или вычитанием двух или трех минут: «когда пытаются найти путем наблюдений и вычислений, произведенных с такой точностью, какой только может достигнуть человеческое прилежание, каково же было ее действительное место, оказывается, что большая часть этих вычислений относит больше, чем на бесконечное пространство выше небесного свода, другие помещают ее совсем близко к поверхности Земли, а некоторые даже под ее поверхностью; из тех же, которые помещают ее не в невозможных местах, ни одно не согласуется с другим; таким образом, приходится по необходимости сказать, что если мы все же хотим из столь великих трудов извлечь какой-нибудь плод, то необходимо внести коррективы, исправляя все наблюдения»⁸⁵.

Таким образом, согласно введенной Галилеем технике обработки результатов следует оценивать ошибки инструментов не по итогам вычислений, а по количеству градусов или минут, которые необходимо добавить при корректировке. При определении высоты звезды, находящейся на удалении Сатурна, прибавление или отнятие только одной минуты может отнести ее бесконечно далеко, а добавление долей минуты к наблюдению, относящему звезду бесконечно далеко, может вернуть ее в допустимое место. На расстояниях же

⁸⁴ Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира. С. 386.

⁸⁵ Там же. С. 388.

подлунных и близких к Земле «можно увеличивать или уменьшать не только на одну, но на десять, на сто и еще большее число минут, и при всем том вычисление все же будет относить ее не только не бесконечно далеко, но даже не выше Луны»⁸⁶. В соответствие со своим новым правилом корректировки результатов наблюдений Галилей утверждает, что новая звезда должна быть помещена на небосводе, среди неподвижных звезд. Тем самым представление Аристотеля о неизменности небес опровергнуто.

Кроме того, с 1577-го по 1596-й г. наблюдалось появление большого количества комет. Подобные небесные гости опровергали утверждение об якобы неподверженной изменениям системе небесных тел. Данные наблюдений Тихо Браге показывали, что кометы принадлежат к «звездному», а не к «подлунному» миру. Более того, кометы двигались по «овальным» орбитам вокруг Солнца, что указывало на отсутствие преград при прохождении сквозь твердые небесные сферы, существование которых утверждала аристотелевская космогония. Факты появления комет послужили еще одним опровержением предположения о неизменности небес.

Появились также опровержения и для предположения Птолемея о неподвижности Солнца. В 1610 г. профессор кафедры математики в Падуанском университете Линчео открыл солнечные пятна. Наблюдение за перемещением солнечных пятен показало, что пути, которым они следуют, можно объяснить, приняв предположение о вращении Земли: «те удивительные изменения... которые должны были бы проявляться время от времени в перемещениях солнечных пятен, если только, действительно, годовое движение принадлежит Земле и если Солнце, находящееся в центре эклиптики, вращается само по себе около оси, не перпендикулярной, а наклонной к плоскости этой эклиптики»⁸⁷.

Тщательные наблюдения за движением солнечных пятен, проводимые в течение многих месяцев, полностью соответствовали предсказаниям, сделанным на основе предположения о годовом вращении Земли. Данное открытие явилось еще одним подтверждением системы Коперника и продемонстрировало способность к предсказаниям, присущую этой модели. Кроме того, наличие изменяющихся пятен на Солнце опровергает положение Аристотеля

⁸⁶ Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира. С. 390.

⁸⁷ Там же. С. 446.

о совершенстве и неизменности Солнца, так как оно является небесным телом, и следовательно, должно быть совершенным.

Новые астрономические наблюдения дискредитировали геоцентрическую модель и перипатетическую картину мира и служили подтверждениями правоты Коперника. Но коперниканская теория не сразу обрела признание, поскольку поначалу она не была подкреплена достаточным количеством наблюдений. Сам Коперник не пытался найти на звездной сфере те явления, которые помогли бы однозначно признать или опровергнуть движение Земли. Причинами его нерешительности являлись как убежденность Коперника в отсутствии свидетельств в пользу гелиоцентрической модели, так и нехватка необходимых инструментов для наблюдения небесных явлений. Например, изменения яркости планет в зависимости от изменения расстояния до Земли нельзя было заметить невооруженным глазом: «без телескопа нельзя заметить ни 60-ти кратного увеличения [яркости] Марса, ни 40-кратного увеличения Венеры в двух противоположных положениях»⁸⁸.

Авторитет коперниканской теории придали наблюдения, осуществленные позднее известными астрономами. Особенно важными для подтверждения коперниковской системы оказались открытия, сделанные Галилеем с помощью телескопа. В 1610 г. он заявил о сенсационных открытиях: обнаружены спутники Юпитера, пятна на Солнце, фазы Венеры. Эти факты не могли быть объяснены с точки зрения птолемеевской космологии, но естественно и убедительно объяснялись системой Коперника. Постепенное накопление свидетельств в пользу теории Коперника способствовало изменению мировоззрения.

О начавшейся смене мировоззренческих установок свидетельствует сам способ аргументации, а именно апелляция к данным наблюдений. В схоластике доводы разума обладали большей ценностью, чем показания органов чувств. Галилей активно использовал отчеты о наблюдениях в качестве аргументов и неоднократно подчеркивал, что еще Аристотель утверждал значимость органов чувств: «Аристотель, как тот, кто не полагается более, чем подобает, на свой ум, хотя бы и чрезвычайно прозорливый, учит в своей

⁸⁸ *Галилей Г.* Диалог о двух главнейших системах мира. С. 466-467.

философии, что данные чувственного опыта следует предпочитать любому рассуждению, построенному человеческим умом»⁸⁹.

Таким образом, провозглашается приоритет чувственных данных по отношению к рациональным аргументам. Подчеркнем, что философы-перипатетики тоже обращались к результатам опытов как к свидетельствам. Разница только в том, что философы никогда не производили опыты сами. Галилей замечает: «с чрезвычайной осторожностью следует соглашаться и признавать истинными многие опыты, на которые ссылаются люди, которые их никогда не производили, но смело приводят их такими, какими они должны быть, чтобы свидетельствовать в их пользу»⁹⁰.

Галилей лично проделывал все опыты, на которые ссылаются перипатетики, и получил в некоторых случаях совершенно противоположные результаты. Например, в качестве свидетельства о неподвижности Земли перипатетики привлекали результат опыта, в котором камень бросался с мачты стоящего и движущегося кораблей. Философы утверждали, что при движении корабля камень будет падать дальше от мачты, чем когда кораблю покоится. Галилей проделал этот опыт и показал, что камень в любом случае падает в одно и то же место: «авторы ссылались на опыт, не производя его...[все] авторы поступали таким же образом, отсылая к своим предшественникам и никогда не доходя до того, кто этот опыт проделал сам, ибо всякий, кто его проделает, найдет, что опыт показывает совершенно обратное написанному, а именно, что камень всегда упадет в одно и то же место корабля, неподвижен ли тот или движется с какой угодно скоростью. Отсюда, так как условия Земли и корабля одни и те же, следует, что из факта всегда отвесного падения камня к подножию башни нельзя сделать никакого заключения о движении или покое Земли»⁹¹.

Таким образом, смена теорий изменила и взгляд на значение фактов: Галилей опирался на факты как на основу своих умозаключений, а схоласты использовали факты в качестве иллюстрации умозрительных рассуждений. Однако неправильно оценивать Галилея как антирационалиста, что проделал, например, Уайтхед: «было бы огромной ошибкой рассматривать этот исторический бунт, как

⁸⁹ Там же. С. 129-130.

⁹⁰ *Галилей Г.* Диалог о двух главнейших системах мира. С. 281–282.

⁹¹ Там же. С. 243.

призыв к разуму, напротив, это было насквозь антиинтеллектуалистское движение. Это было возвратом к рассмотрению грубых фактов, и это было платой за застывшую рациональность средневековой мысли»⁹². Галилей обобщает результаты опытов до такой степени, что они приобретают силу рациональных аргументов. Например, посредством конкретной иллюстрации невозможности обнаружить равномерное движение на плывущем корабле вводится базовое понятие механики – понятие инерциальной системы отсчета. Именно Галилея считают основателем современного экспериментального естествознания, и соответствие фактам становится важной характеристикой научной теории.

Среди прочих достоинств, способствующих укреплению позиций гелиоцентрической модели следует упомянуть и логическую стройность последней. Значение рациональных аргументов для обоснования новой теории огромно. «Привычка к определенному точному мышлению была привита европейскому уму в результате доминирования схоластической логики и схоластической теологии. Привычка осталась и после того, как философия была отвергнута, эта бесценная привычка поиска ясности и приверженности ей, как только она найдена. Галилей обязан Аристотелю в большей степени, чем это представляется при первом взгляде на его «Диалоги»: он обязан ему своей ясной головой и аналитическим умом»⁹³. Галилей рассматривает каждое положение, привлекаемое перипатетиками в защиту системы Птолемея, и умозрительными аргументами доказывает его ложность, вскрывая ошибки в доказательстве или приводя его к противоречию.

Вот пример рационального рассуждения Галилея. Одна из трудностей принятия новой системы была связана с представлениями о структуре пространства и решением вопроса о центре мира. Аристотель предполагал, что мир конечен, но если «отрицать основное его положение, что вселенная подвижна, то все его доказательства отпадут, так как он доказывает конечность и ограниченность исходя только из подвижности вселенной»⁹⁴. Доказательство того, что небеса неподвижны, позволяло выдвинуть гипотезу о бесконечности Вселенной, а «превращение гелиоцентризма в механическую кон-

⁹² Уайтхед А. Н. Избранные работы по философии. М.: Прогресс, 1990. С. 64.

⁹³ Там же. С. 68.

⁹⁴ Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира. С. 416.

цепцию безграничного мира было научным подвигом Галилея, и он это хорошо сознавал»⁹⁵.

Но если мир безграничен, то невероятно считать, что Земля или другое небесное тело – центр мира. «Если правильно, что центром мира является точка, вокруг которой движутся орбиты небесных тел, то есть планет, то гораздо более правдоподобно, что не Земля, а Солнце находится в центре мира»⁹⁶.

Наряду с умозрительной аргументацией в стиле схоластов, Галилей широко использует геометрические построения и вычисления. Применение последних было несвойственно перипатетикам: «Аристотель упрекает Платона, обвиняя его в том, что слишком усердные занятия геометрией удалили его от настоящего философствования; я знавал и слушал величайших философов-перипатетиков, которые советовали своим ученикам не заниматься математическими науками, так как они делают ум придирчивым и неспособным к правильному философствованию... Я одобряю совет этих перипатетиков, удерживающих своих школьников от занятий геометрией, так как нет ни одной науки, более приспособленной для раскрытия их ошибок»⁹⁷.

И все же два вопроса остались не исследованными Галилеем: «Почему тела падают с постоянным ускорением? Можно ли земной закон движения применять ко всем телам во вселенной, включая звезды и планеты?»⁹⁸. Ответ на второй вопрос был дан только Ньютоном, который показал, что между земными и небесными телами действует одна и та же сила – сила тяготения. Только после работ Ньютона, строго обосновавшего гелиоцентрическую модель, она была окончательно принята научным сообществом.

Галилей подчеркивает, прежде всего, роль опыта и математики в исследовании мира. При этом воспевание роли опыта в устах Галилея приобретает новое звучание: Галилей не просто наблюдает, он ставит эксперименты для проверки гипотез. Галилей разрабатывает технику корректировки ошибок наблюдений и методы матема-

⁹⁵ Кузнецов Б.Г. Эволюция картины мира. М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1961. С. 123.

⁹⁶ Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира. С. 417.

⁹⁷ Там же. С. 490.

⁹⁸ Harre R. Great Scientific Experiments: Twenty Experiments that Changed our View of the World. NY: Dover Publications, 2002. P. 81.

тической корректировки результатов. Таким образом, математическая точность проникает не только в сферу мыслительных актов, но и в область интерпретации чувственных данных, которые раньше считались ненадежными из-за непостоянства материи. Галилею также принадлежит обобщение многих важных понятий и разработка общих принципов и законов. Иначе говоря, Галилей, применяя, казалось бы, те же самые методы – наблюдение и математические расчеты, – использует их по-новому, распространяя математику и в область опыта, что придает результатам наблюдения большую общность и абстрактность, а значит, и силу рационального аргумента. Поэтому у Галилея более широкое использование данных наблюдений влечет за собой и более широкое применение рациональных аргументов.

Итак, существенными для выбора теории были следующие факторы: объяснительная сила теории; ее простота и логическая стройность; соответствие наблюдениям, хотя на начальном этапе своего развития гипотеза Коперника давала меньшую точность, чем теория Птолемея. Отметим также факт преемственности теорий: новая теория соответствует эмпирическому содержанию старой, а также принимаются некоторые из прежних основных принципов – рассматривать движение планет как круговое и равномерное, ибо, согласно Аристотелю, именно такое движение является совершенным.

2.2.2. Вещественная теория теплоты сменяется кинетической теорией

В XVII в. намечились два основных направления в разработке учения о природе теплоты, давшие начало вещественной и кинетической (корпускулярной) теориям. Две теории теплоты являлись реализацией двух подходов или, выражаясь языком И. Лакатоса, двух исследовательских программ – Декарта и Ньютона. Последователи Ньютона пытались объяснить различные явления действием сил, приписываемым не частицам обычного вещества, а неким тонким жидкостям. Природу теплоты объясняли наличием такой жидкости – теплорода, чьи частицы взаимодействуют с частицами тел. Напротив, картезианское объяснение физических явлений базировалось на предположениях о движении мельчайших частичек и неощущаемых жидкостей, что было предметом для критики. «Карте-

зианцы позволяют себе право допускать какие им вздумается неведомые виды и величины частиц, неопределенные их расположение и движение»⁹⁹. Итак, последователи Декарта рассматривали теплоту как внутреннее движение частичек тела, а ньютоналианцы – как некую невесомую и неоощуаемую жидкость.

Первое систематическое изложение взглядов сторонников теории теплорода – сочинение немецкого физика и философа Х. Вольфа «Физические эксперименты, или всевозможные полезные опыты, которыми прокладывается путь к точному познанию природы и искусства», – было издано в Галле в 1721 г. Эта работа стала широко известной на Западе и пользовалась популярностью в ученых кругах.

Победа вещественной теории теплоты во второй половине XVIII в. исторически обусловлена. Тепловые явления в тот период изучались вне связи с другими физическими явлениями, а процессы превращения теплоты в работу не затрагивались вообще. Физики имели дело с явлениями перераспределения теплоты и ее передачи, когда количество теплоты остается неизменным. Они полагали, что теплота переходит от тела к телу подобно жидкости, переливаемой из сосуда в сосуд, а явления теплопроводности объясняли течением теплорода по телу. «Концепция теплорода очень хорошо подходила к описанию калориметрических фактов: формула Рихмана и более поздние формулы, учитывающие скрытые теплоты, прекрасно могли быть объяснены»¹⁰⁰. Нагретость тела объясняли присутствием тепловой материи, а Лавуазье включил теплород в число химических элементов. Наиболее ранние калориметрические исследования «способствовали укреплению представлений о теплоте как о веществе, поскольку при смешении различно нагретых жидкостей, а также льда и воды всегда наблюдалось выполнение основного положения вещественной теории – количество теплоты оставалось во всех случаях неизменным»¹⁰¹.

В то же время кинетическая теория теплоты сталкивалась с большими трудностями при объяснении ряда явлений. Наблюдаемые явления, по всей видимости, ей противоречили. Например, ка-

⁹⁹ Гайденоко П. П. Эволюция понятия науки (XVII–XVIII вв.). М.: Наука, 1987. С. 242.

¹⁰⁰ Кудряцев П. С. Курс истории физики. М.: Просвещение, 1982. С. 140.

¹⁰¹ Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: Высш. Школа, 1981. С. 22.

залось, что из кинетической теории следует пропорциональность теплоемкости тела его плотности. Действительно, «отождествляя теплоту с живой силой молекул, надо было признать, что чем больше масса тела, тем больше живой силы нужно передать ему, чтобы сообщить молекулам ту же самую скорость, т. е. нагреть тело до той же температуры»¹⁰². Это предположение не соответствовало опыту, и потребовалось длительное развитие кинетической теории, для того чтобы она смогла объяснить детали тепловых явлений и их количественные закономерности. Историк и методолог науки Я. М. Гельфер пишет: «Корпускулярная гипотеза не опиралась ни на какие заслуживающие внимания экспериментальные факты, скорее, дело обстояло наоборот. Имевшиеся в распоряжении физиков того времени факты, казалось, противоречили корпускулярной гипотезе и укладывались в рамки теории теплорода»¹⁰³. Теория теплорода была более простой, базировалась на меньшем числе гипотез.

Кроме того, эта теория обладала значительной объяснительной и предсказательной силой. Она приводила к выводу, что теплота не может ни возникать, ни уничтожаться, а только перераспределяться между телами, причем развитие этой идеи привело к открытию закона сохранения энергии. «Исследования, ставившие своей целью выяснение характера перераспределения тепла между нагретыми телами... стали появляться в 20–30-х гг. XVIII в. Эти исследования положили начало формированию важнейшего термодинамического понятия теплоемкости тела, а также разграничению понятий о температуре и количестве теплоты»¹⁰⁴. В результате калориметрических опытов петербургским академиком Рихманом были открыты формула смешения и явление стационарной теплопроводности, а английский ученый Дж. Блэк открыл скрытую теплоту плавления и парообразования, а также теплоемкость тел. Успехи вещественной теории теплоты при объяснении тепловых явлений привели к тому, что о корпускулярной гипотезе почти не вспоминали.

Таким образом, в период торжества вещественной теории теплоты она обладала следующими качествами: объяснительной силой, простотой, согласием с опытными данными; эта теория также не

¹⁰² Спасский Б. И. История физики. В 2-х тт. М.: Высш. Школа, 1977. Т. 1. С. 167-168.

¹⁰³ Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: Высш. Школа, 1981. С. 37.

¹⁰⁴ Там же. С. 22.

противоречила зрелым теориям (механике Ньютона), принимала меньшее число гипотез, позволяла открывать новые закономерности. Кинетическая гипотеза противоречила фактам, не могла объяснить многие тепловые явления и опиралась на большое количество исходных предположений.

Прогресс в области корпускулярной гипотезы был связан с работами Д. Бернулли, Р. Бойля и М. В. Ломоносова, создавшего стройную кинетическую теорию. Ломоносов объяснил явления плавления, испарения и теплопроводности, тепловое расширение тел, а также пришел к выводу о необходимости существования абсолютного нуля температур. Ломоносов критиковал мнение о том, что повышение температуры тела связано с поглощением теплорода: «если бы было так же легко как предположить, так и показать, чем именно теплотворная материя загоняется во внезапно нагревающиеся тела, каким образом, спрашивается, в самую холодную зиму... где, согласно этой гипотезе, теплотворной материи почти совершенно нет, порох, зажженный малейшей внезапно зародившейся искрой, вспыхивает вдруг огромным пламенем? Откуда и в силу какой удивительной способности материя эта мгновенно стягивается в одно место? Это противоречит прежде всего опыту, а затем здравому смыслу»¹⁰⁵.

Теория теплорода господствовала до первых десятилетий XIX в., пока развитие физики не пришло в противоречие с ней. Конец господству теории флогистона положил Лавуазье, создавший новую теорию горения. В середине XIX в. ей был нанесен окончательный удар в результате установления закона сохранения и превращения энергии и открытия принципа эквивалентности теплоты и работы. Принцип взаимного превращения теплоты и работы служил подтверждением кинетической теории теплоты, а рассмотрение процесса превращения работы в теплоту противоречило теории теплорода. Исследования в области физики процесса лучеиспускания привели к открытию «темных тепловых лучей» (астрономом В. Гершель, физики И. Виттер и В. Волластон). Аналогия между свойствами света и теплового излучения давала повод рассматривать последнее как волновой процесс, а поскольку источником волн

¹⁰⁵ Ломоносов М. В. Полн. собр. соч. Т. II. М., 1959. С. 41-43.

являются колебательные движения частиц, то корпускулярная гипотеза приобрела еще одно экспериментальное подтверждение.

Корпускулярная теория расширила и область объясняемых явлений. В 1859 г. Дж. К. Максвелл доложил на собрании Британской ассоциации результаты работы по кинетической теории и вывел закон распределения скоростей молекул, который более строго был доказан Больцманом в 1875 г. В Англии в 1863 г. Томас Грехэм использовал кинетическую теорию для объяснения броуновского движения, считавшегося прямым экспериментальным подтверждением гипотезы о теплоте как движении молекул. В Германии Стефан применил кинетическую теорию для вычисления скорости звука. Науман использовал кинетическую теорию для оценки размеров и скоростей молекул.

Кинетическая теория приобрела завершенность в трудах Максвелла, реализовавшего статистический подход в газовой динамике. «Существенным свойством газа является случайное движение составляющих его частиц: фактически слово «газ» означает само по себе хаос. Вначале теоретики кинетической теории стремились игнорировать это свойство. Они основывали свои математические доказательства на допущении, что все молекулы движутся с одной и той же скоростью... Основная гипотеза Максвелла состояла в том, что многочисленные столкновения между молекулами газа, вместо того, чтобы привести к выравниванию скоростей молекул, как предполагали некоторые ученые, на деле приводят к статистическому распределению скоростей, в котором могут встречаться любые скорости с известной вероятностью»¹⁰⁶.

Кинетическая теория теплоты получила признание и смогла оттеснить теорию теплорода, поскольку имела многочисленные эмпирические подтверждения, могла объяснять и предсказывать тепловые явления, открыла возможности для синтеза не связанных ранее областей науки. Логическую стройность кинетическая теория приобрела после открытия взаимопревращения механической работы и теплоты, что позволило сформулировать общий закон сохранения

¹⁰⁶ Бруш С. Дж. Развитие кинетической теории газов (Максвелл) // Джемс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968. С. 288.

энергии, который связывал тепловые, механические, электрические и химические явления, что вело к упрощению теории.

2.2.3. Модели атома Дж. Томсона и Э. Резерфорда

Первой моделью атома (после открытия электрона и явлений радиоактивности) стала модель, разработанная В. Томсоном и Дж. Дж. Томсоном, изложившим ее основы в IV и V главе книги «Электричество и материя»¹⁰⁷. Эта книга, опубликованная в 1903 г., посвящена разработке теории электромагнитного поля и является продолжением идей Фарадея о силовых линиях. Томсон также выдвинул гипотезы о природе электрических зарядов, образующих начало и конец силовых линий, и доказал, что заряды являются частицами.

К выводу о корпускулярной природе электричества Томсон пришел на основе опытов Фарадея с электролитами. Фарадей показал, что количество электричества пропорционально числу атомов, выделяющихся на электроде. Следовательно, «если мы примем гипотезу, что элементарные вещества составлены из атомов, то не можем избежать того заключения, что электричество как положительное, так и отрицательное разделяется на определенные элементарные частицы, которые играют роль атомов электричества»¹⁰⁸.

К тем же выводам приводят и опыты по прохождению электричества через газы. Обычные газы не проводят ток, но если газ был приведен в состояние проводимости, например под действием рентгеновских лучей, то он остается в этом состоянии достаточно долго. Ионизированный газ можно лишить проводимости, если его профильтровать. Следовательно «проводимость принадлежит чему-то, смешанному с газом, что может быть отфильтровано от него... Эти результаты показывают, что та составная часть, которою обусловлена проводимость газа, состоит из заряженных частиц и что проводимость происходит от движения этих частичек в электрическом поле»¹⁰⁹.

На основании опытов с электропроводностью газов и изучения электролиза жидкостей Томсон пришел к выводу о существовании заряженных частичек и измерил их заряд. Сам Томсон называл эти

¹⁰⁷ Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. М.: Государств. Изд-во, 1928.

¹⁰⁸ Там же. С. 51.

¹⁰⁹ Там же.

частички «корпускулами» (corpuscle). Термин «электрон» для обозначения этих частиц был введен позже Стони (G. H. Stony)¹¹⁰.

Измерение заряда и массы электрона

Постулировав существование частиц электричества, Томсон продолжает изучать их свойства, прежде всего заряд и массу. Поскольку в целом газ нейтрален, то Томсон предполагает, что количество положительно и отрицательно заряженных частиц должно совпадать. Если каждая заряженная частица несет заряд e , а всего таких частиц n , то можно определить суммарный заряд одного знака и найти его отношение к числу частиц.

Для измерения суммарного заряда ne газ заключался между двумя параллельными металлическими пластинами, одна из которых изолирована, а вторая подключена к источнику высокого напряжения. После ионизации газа рентгеновскими лучами на вторую пластину внезапно подавалось высокое напряжение. Возникшее электрическое поле отталкивало положительные частицы в газе и они устремлялись на изолированную пластину, не успев аннигилировать. Образовавшийся на изолированной пластине положительный заряд измерялся электрометром.

Теперь, когда был известен суммарный заряд, чтобы узнать заряд каждой частицы, требовалось определить количество частиц n . Для решения этой задачи Томсон использует открытие Ч. Т. Р. Вильсона, установившего, что заряженные частицы являются центрами конденсации в перенасыщенном паре. Так как на заряженных частицах конденсируется пар, то они делаются видимыми. Однако количество этих капелек слишком велико, а размер слишком мал для того, чтобы их можно было непосредственно сосчитать. Поэтому Томсон применял косвенный метод оценки.

Этот метод заключался в следующем. Пусть имеется насыщенный водяной пар, в который помещены заряженные частицы. Если резко вызвать расширение объема, то воздух охладится и окажется перенасыщенным. Капли воды начнут оседать на заряженных частицах. Зная, на сколько градусов понизилась температура воздуха, и чему равен удельный вес насыщенного водяного пара, можно

¹¹⁰ Harre R. Great Scientific Experiments: Twenty Experiments that Changed our View of the World. P. 180.

определить количество осажденной воды. Теперь, если знать объем одной капельки, можно вычислить число капелек.

Для определения размера капельки Томсон использует результаты исследования Дж. Стокса о скорости падения маленьких шариков в воздухе. Из-за вязкости воздуха маленькие тела падают медленно. Стокс показал, что чем меньше капелька, тем медленнее она падает, а скорость V зависит от радиуса капельки r следующим образом:

$$V = \frac{2}{3} \frac{gr^2}{\mu},$$

где g – ускорение силы тяжести, а μ – коэффициент вязкости воздуха.

Измеряя скорость опускания облака капелек, образовавшегося вокруг заряженных частиц, Томсон определил размер капельки, а затем и число частиц. В результате он получил значение заряда электрона равным $3,4 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц. (Последующие измерения дали величину $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$).

Подобные опыты Томсон проделывал с различными веществами и нашел, что ионы имеют один и тот же заряд. Это привело его к мысли о существовании элементарной заряженной частицы: «изучаем ли мы прохождение электричества через газы или жидкости, мы приходим к понятию естественной единицы или атома электричества; все заряды представляют целое кратное этого атома, подобно тому, как масса какого-нибудь количества водорода есть целое кратное массы водородного атома»¹¹¹.

Позже Томсон измерил отношение массы частицы к ее заряду $\frac{e}{m}$, изменяя интенсивность электрического и магнитного полей, действующих на частицу. Он измерял это отношение для электронов, полученных из различных металлов и различными способами (с помощью облучения ультрафиолетовыми лучами или нагревания), и пришел к выводу, что оно всегда одно и то же: «Эти опыты привели к тому замечательному результату, что величина $\frac{e}{m}$ остается неизменной, какова бы ни была природа газа, в котором нахо-

¹¹¹ Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. С. 57.

дится частица, и какова бы ни была природа металла, из которого она выделилась»¹¹².

Если в качестве единиц измерения выбирали сантиметр, грамм и секунду, а заряд измерялся в электромагнитных единицах, то отношение $\frac{e}{m}$ всегда оказывалось равным 10^7 . Аналогичные измерения производились для носителей положительного электричества. Если носителем заряда являлся «атом водорода», то эта величина равнялась 10^4 .

Модель атома Томсона

Элементарная частица электричества не зависит ни от вещества, ни от способа ионизации, поэтому Томсон заключает, что она должна быть составной частью атомов различных веществ. У него возникла мысль, что атомы химических элементов не являются неделимыми, а построены из более элементарных частиц. В пользу сложного строения атома свидетельствуют и явления радиоактивности. В итоге Томсон пытается разработать первую модель атома.

Он исходит из того, что частица электричества является частью атома. Поскольку она заряжена отрицательно, а атом в целом нейтрален, то ей должен соответствовать равный заряд положительного электричества. Однако частица, несущая эквивалентный положительный заряд, имеет в 1000 раз большую массу. Поэтому Томсон приходит к выводу, что «объем, в котором распределено положительное электричество, гораздо больше объема корпскулы»¹¹³.

Согласно этой модели, атом состоит из положительного заряда, равномерно заполняющего сферу, размеры которой имеют тот же порядок, что и размер атома. Внутри сферы находятся отрицательные заряды, причем их размеры гораздо меньше размеров сферы. Решая вопрос о движении электронов внутри атома, Томсон замечает, что «движущаяся электрическая частица излучает энергию всякий раз, когда ее скорость изменяется по величине или направлению».¹¹⁴ Поэтому из предположения о вращении электронов в атоме следует, что они должны терять энергию.

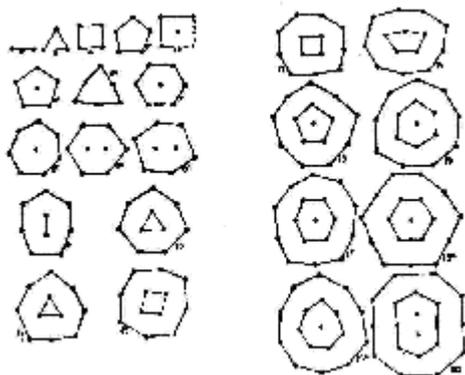
¹¹² Там же.

¹¹³ Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. С. 62.

¹¹⁴ Там же. С. 67.

При устойчивом состоянии атома электроны должны располагаться в нем концентрическими слоями с определенным числом электронов в данном слое. При решении проблемы конфигурации электронов в атоме, Томсон использовал результаты опыта Майера с несколькими плавающими в воде магнитиками. В этом опыте несколько маленьких магнитиков закреплялись на пробках так, чтобы положительные полюсы находились выше поверхности воды. Торчащие из пробок положительные полюсы отталкиваются с силами, изменяющимися обратно пропорционально расстоянию. Над группой закрепленных на пробках магнитиков помещался мощный магнит, противоположным полюсом вниз. Со стороны отрицательного полюса, подвешенного на некотором расстоянии от поверхности воды действовала сила притяжения.

Майер показал, что заряды находятся в равновесии, разделяясь на сферы с общим центром. При этом «одна группа, содержащее меньшее число корпускул, находится на поверхности маленького тела, концентрического со сферой, другая – на поверхности большего концентрического тела»¹¹⁵. (См. на рис. чертеж Майера). Томсон рассчитал, что потери энергии заряженного тела, движущегося



с определенной скоростью, значительно больше, чем потери энергии симметрично расположенной группы тел, движущихся с теми же скоростями. «Идея о разделении электронов в атоме на группы стала исходным пунктом и более новых воззрений»¹¹⁶, легла в основу всех последующих атомных моделей.

Томпсон находит доводы и «за», и «против» возможности движения электронов в атоме. С одной стороны, образование новых соединений или радиоактивный распад свидетельствуют об уменьшении энергии атома. С другой стороны, некоторые элементы су-

¹¹⁵ Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. С. 71.

¹¹⁶ Бор Н. Избранные научные труды. Т.1. М.: Наука, 1970. С. 325.

шествуют без изменения много тысяч или даже миллионов лет. Количество излучаемой энергии зависит от рода «движения корпускул в атоме. Так, например, если бы большое число корпускул двигалось близко друг от друга по круговой орбите, то излучение было бы крайне мало. Оно исчезло бы совершенно, если бы корпускулы располагались так тесно, что образовали бы непрерывное кольцо отрицательного электричества. Если бы то же число частиц двигалось вокруг в беспорядке, то излучение, т. е. корпускулярное охлаждение было бы значительно больше»¹¹⁷.

С помощью своей модели Дж. Дж. Томсон объяснил периодичность химических свойств элементов, выражаемую периодическим законом Менделеева; линейный спектр атомов; проводимость металлов. Помимо способности объяснять явления, модель Томпсона соответствовала известным в то время фактам и согласовывалась с классическими научными представлениями. Пробным камнем для модели атома Томсона стало объяснение рассеяния заряженных частиц на мишенях. Особенно важным было объяснить рассеяние частиц при прохождении сквозь тонкие слои вещества. Томсон объяснял отклонение отрицательно заряженных частиц при прохождении через атом «двумя причинами: 1) отталкиванием от электронов, расположенных внутри атома; 2) притяжением положительного электричества атома»¹¹⁸. Точность предсказаний модели атома была экспериментально проверена Кроуссером, исследовавшим рассеяние электронов, и его результаты согласовывались с основными теоретическими положениями. Кроуссер сделал вывод о том, что «количество электронов в атоме примерно втрое больше его атомного веса»¹¹⁹.

Модель атома Томсона предполагала, что «структура атома не создает очень больших отклонений α -частиц при прохождении ими атома, если не предполагается, что диаметр сферы положительного электричества мал по сравнению с диаметром сферы влияния атома»¹²⁰. Но оказалось, что очень редко, примерно в одном случае из

¹¹⁷ Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. С. 68-69.

¹¹⁸ Резерфорд Э. Рассеяние α и β - частиц веществом и строение атома // Избранные труды. М.: Наука, 1972.

¹¹⁹ Резерфорд Э. С. 208.

¹²⁰ Там же.

двухсот тысяч, заряженные частицы отклоняются на большой угол. Это явление не могло быть объяснено моделью атома Томпсона.

Эксперименты Э. Резерфорда

Э. Резерфорд работал в Кавендишской лаборатории с 1895-го по 1898-й г. под руководством Дж. Томсона. Затем он проводил исследования в университете Мак Джина в Монреале. Здесь он основал собственную лабораторию, в которой работал вместе со своими учениками и ассистентами, включая Фредерика Содди. Вместе с Содди они исследовали свойства радиоактивных материалов и α -частиц.

В 1909–1910-е гг. сотрудниками лаборатории Резерфорда были проведены экспериментальные исследования по рассеиванию α -частиц, показавшие, что одна из примерно 200 000 частиц отклоняется на большой угол. Резерфорд рассматривал столкновения, в результате которых α -частицы отклонялись на большие углы, и пришел к выводу, что «как центральный заряд, так и заряд α -частиц можно считать сосредоточенными в точке. Будет показано, что основные выводы теории не зависят от того, каков центральный заряд – положительный или отрицательный. Для удобства примем положительный знак»¹²¹. Резерфорд пришел к выводу, что α -частицы рассеивались силовыми центрами, которые действовали на них с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния.

Томсон, учтя полученные экспериментальные данные, в 1913-м г. разработал новую модель атома, предположив, что атом состоит из ядра малых размеров, вокруг которого находятся электроны. Электроны расположены в виде колец и покоятся, пока не получают энергии, достаточной для вращения или отрыва от атома. С помощью новой модели Томсон объяснил результаты опыта Резерфорда, спектральные закономерности, дискретный характер излучения и поглощения энергии, эффекты Пельтье и Томсона (торможение заряженных частиц в веществе, эти явления впервые были объяснены Дж. Дж. Томсоном) и целый ряд других физических и химических явлений. Анализируя торможение электронов в веще-

¹²¹ Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. С. 208–209. Предположение о положительности центрального заряда позволило объяснить высокую скорость испускания α -частиц, избежав предположения, что они первоначально находятся в движении внутри атома.

стве, Томсон предположил, что потеря скорости движущейся в веществе заряженной частицы связана с передачей кинетической энергии электронам атомов, с которыми она испытывает столкновения. Бор признавал достоинства уточненной модели Томсона: «Если, однако, мы проинтегрируем полную потерю энергии, то получим бесконечно большое значение для величин поглощения. Дж. Дж. Томсон в своей упомянутой теории торможения катодных лучей обходит эту трудность»¹²².

Резерфорд, анализируя данные эксперимента, высказался за планетарную модель атома, в которой электроны вращались вокруг ядра¹²³. При этом Резерфорд ссылается на работу Нагаоки¹²⁴, где показано, что такая система устойчива, если сила притяжения велика. Однако Вин еще в 1905-м г. высказывался против такой модели, так как движущиеся электроны, в соответствии с законами электродинамики, должны были излучать энергию, что делало атом неустойчивым. В 1913 г. Бор обратил внимание на трудности объяснения устройства атомов на основе «ядерной» теории и показал, что устойчивые положения внешних электронов не могут быть выведены из классической механики.

Модель Резерфорда объясняла не только рассеяние на малые углы, но и значительные отклонения α -частиц: «Основные соотношения теории сложного рассеяния Дж. Дж. Томсона, проверенные экспериментально Кроуссером, справедливы и в теории однократного рассеяния»¹²⁵. Но для модели Томсона объяснение рассеяния заряженных частиц на большие углы представляло проблему: «измеренное Гейгером распределение рассеянных α -частиц под разными углами находится в хорошем согласии с теорией однократного рассеяния, и это распределение нельзя объяснить по теории сложного рассеяния»¹²⁶.

Модели атома Томсона и Резерфорда были вытеснены моделью атома Бора: он понял, что для построения теории, которая объясня-

¹²² Бор Н. Теория торможения заряженных частиц при их прохождении через вещество // Избранные научные труды в 2 тт. Т. 1. М. Наука, 1970. С. 64.

¹²³ Резерфорд Э. Избранные труды. М.: Наука, 1972. С. 238.

¹²⁴ Nagaoaka H. LV. Kinetics of a System of Particles illustrating the Line and the Band Spectrum and the Phenomena of Radioactivity // Philos. Mag. 1904. V. 7. P. 445.

¹²⁵ Резерфорд Э. С. 219.

¹²⁶ Там же. С. 220.

ла бы результаты опытов, устойчивость атомов и закономерности серий спектров излучения атомов, нужно отказаться от некоторых принципов классической физики. В отличие от модели Томсона, теория Бора лучше соответствовала данным измерений и получила в 1914-м г. прямое опытное подтверждение в виде результатов экспериментов Франка и Герца. В этих опытах было показано, что столкновения электронов с атомами являются упругими, если энергия первых отличается от некоторых критических значений. Если же электроны имеют критическое значение энергии E , то их энергия полностью передается атому и он начинает излучать с частотой E/h .

Проведенные опыты подтверждали гипотезу Бора о существовании определенных стационарных состояний атома, а также предположения о том, что частота излучения атома определяется изменением его энергии при переходе из одного стационарного состояния в другое. Для разработки своей модели Бору пришлось прибегнуть к «принципу соответствия, с установлением которого стало возможным – несмотря на фундаментальные различия между обычной теорией электромагнитного излучения и идеями квантовой теории – дополнить определенные выводы, основанные на квантовой теории, другими выводами, основанными на классической теории излучения»¹²⁷. Модель Бора обладала объяснительной и предсказательной силой и позволяла рассчитать энергетические уровни атома.

Итак, в момент выдвижения модель атома Томсона позволила объяснить многие известные тогда явления, она соответствовала известным фактам, находилась в согласии с представлениями классических теорий. От нее окончательно отказались после открытия новых фактов, которые ею не описывались, и выдвижения Бором новой альтернативной модели атома, которая могла объяснить большее число фактов, обладала предсказательной силой, давала хорошее соответствие расчетов с экспериментальными данными, но вела к отказу от классических представлений о непрерывности излучения и вводила новое понятие – квантование энергии

¹²⁷ Бор Н. Структура атома // Избранные научные труды в 2 тт. Т. 1. М.: Наука, 1970. С. 285.

2.3. Существенные характеристики научной теории

Подведем итоги. В результате рассмотрения отброшенных научных теорий было обнаружено, что различные теории обладали различными характеристиками, которые не встречаются с необходимостью во всех случаях, что делает невозможным применение обычного критерия демаркации. Тем не менее все выявленные признаки, которые встречались у теорий, в разное время упоминались различными философами и являются хорошо известными. Объединяя выявленные признаки в общий список, напомним, что установлена важность следующих факторов:

Соответствие опытным данным;

Соответствие предшествующим теориям;

Объяснительная сила теории;

Предсказательная сила теории;

Простота теории;

Логическая стройность (теория не привлекает дополнительных гипотез).

Заметим, что простота теории и ее логическая стройность связаны друг с другом: действительно, теория, не привлекающая большое число дополнительных предположений, оказывается логически более стройной, а значит, и более простой и для понимания, и для вычислений. И наоборот, простая теория базируется только на небольшом количестве исходных положений. Так как эти свойства взаимозависимы, мы объединим их в одно качество – системность научной теории. Системность предполагает вывод следствий из небольшого числа исходных посылок (простота) и логическую выводимость частных положений из общих (логическая строгость).

Соответствие (или несоответствие) экспериментальным данным возможно установить только в том случае, если теория в принципе допускает проверку выводимых следствий. Последнее требование

означает, что из теории должны выводиться такие следствия, которые допускают эмпирическую проверяемость. Это требование обязательно для научных теорий, но так как наша конечная цель – построение критерия демаркации, а ненаучные теории могут это свойство не иметь, то подчеркнем его особо.

В результате мы получили следующий набор существенных характеристик, которыми должна обладать научная теория:

Эмпирическая проверяемость;

Соответствие данным эксперимента;

Соответствие установленным теориям;

Наличие объяснительной силы;

Наличие предсказательной силы;

Системность.

Теперь, составив перечень наиболее существенных свойств научной теории, мы видим, что все перечисленные свойства не встречались одновременно ни у одной из научных теорий. В ходе анализа смены научных теорий мы пользовались интуитивными понятиями и представлениями о характеристиках научных теорий. Но чтобы определить понятие научной теории, требуется установить содержание этих свойств как можно точнее. Решению этой задачи посвящена следующая глава.

Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАУЧНОЙ ТЕОРИИ

Наша очередная задача – определить основные понятия, необходимые для работы с приведенным в предыдущей главе критерием. К ним относятся такие понятия, как *область приложения теории* и выявленные нами существенные характеристики научных теорий: *эмпирическая проверяемость, соответствие теории фактам, объяснительная и предсказательная сила, системность и соответствие надежно установленным теориям*.

Ранее эти понятия использовались в интуитивном смысле, но, поскольку критерий научности должен формулироваться достаточно строго, следует рассмотреть их более подробно. Сначала мы ознакомимся с мнениями, которые высказывались в литературе по поводу перечисленных выше свойств научной теории. Это поможет нам избежать возможных методологических ошибок и неправильного понимания. Кроме того, будут приняты во внимание конкретные случаи, имевшие место в истории науки. На основе философского анализа и примеров из истории науки будут сформулированы итоговые определения существенных характеристик.

3.1. Область приложения теории

Понятие область приложения теории используется при установлении соответствия теории и фактов. Предполагается, что теория должна быть согласована с фактами из области ее приложения. Однако понятие области приложения трудно определить, поскольку она со временем изменяется. Многие теории возникают как гипотезы, выдвинутые для объяснения некоторого класса явлений. Затем, если гипотеза подтверждается, ее пытаются распространить на другие явления и факты. Окончательно область приложения теории задается более общей теорией, которая включает раннюю как предельный случай и тем самым ограничивает область ее применения. Мы будем считать, что теория достигла границ своей применимости, если в новой области приложения не определены некоторые ее понятия или для объяснения фактов требуется принятие гипотез, противоречащих другим положениям теории.

3.2. Эмпирическая проверяемость*

3.2.1. Позиция позитивистов

Эмпирическая проверяемость является требованием, предъявляемым позитивистами к научным теориям, в частности, чтобы защитить эти теории от метафизики. Эмпирически проверяемыми считались те положения, истинностное значение которых могло быть установлено простой эмпирической проверкой с помощью наблюдения. Свойство эмпирической проверяемости логический позитивизм связывал с определенной логической структурой предложений. Предложения, обладавшие такой структурой, назывались верифицируемыми и считались научными, а само свойство верификации было положено в основу критерия демаркации науки и лженауки. «С помощью философии предложения объясняются, с помощью науки они верифицируются»¹²⁸. Поскольку метафизический поиск умозрительных истин себя скомпрометировал, то было предпринято изучение структуры предложений во имя открытия достоверных оснований познания.

Отчеты о наблюдениях составлялись в виде «протокольных предложений», которые должны были стать эталоном истинности, а истинность всех остальных предложений можно было установить сравнением с протокольными. «Первоначально под “протокольными предложениями” понимались – как это видно из самого наименования – те предложения, которые выражают факты абсолютно просто, без какого-либо их переделывания, изменения или добавления к ним чего-либо еще, – факты, поиском которых занимается всякая наука и которые предшествуют всякому познанию и всякому суждению о мире»¹²⁹. Однако позднее М. Шлик показал, что протокольные предложения яв-

* Часть текста была опубликована в: *Сторожук А. Ю.* Философия научного эксперимента: реакция на кризис рационализма // *Философия науки.* 2004. № 3(22). С. 87-120. *Сторожук А. Ю.* Проблема наблюдения как аргумент в дебатах о реализме // *Философия науки.* 2005. № 1(24). С. 49-62.

¹²⁸ *Шлик М.* Поворот в философии // *Аналитическая философия: Избранные тексты.* М.: Изд-во МГУ, 1993. С. 31.

¹²⁹ *Шлик М.* О фундаменте познания. Там же. С. 32.

ляются гипотезами и не могут служить достоверными основаниями познания.

В целом позитивизм использовал понятие наблюдения при решении многих философских проблем. Понятие принципиальной наблюдаемости играло важную роль при анализе смысла высказываний. Предложения делились на осмысленные, неосмысленные и бессмысленные. Высказывание считалось осмысленным, если ему соответствует какое-либо реальное положение дел. При этом наблюдение обеспечивало основу нашего знания: «Большинство философов признает, что знание отдельных фактов возможно только в том случае, если эти факты воспринимаются, или вспоминаются, или выводятся с помощью правильного доказательства из таких, которые воспринимаются или вспоминаются»¹³⁰.

Осмысленные высказывания могли быть истинными и ложными. Решение вопроса об истинности или ложности высказываний также требовало сопоставления с реальным положением дел: «События являются свидетельствами истинности предложений»¹³¹. Таким образом, понятие наблюдаемости играло важную роль при определении истинности высказывания.

В основу научной теории могли быть положены только те суждения, истинность которых устанавливалась с помощью простой процедуры сопоставления с опытом. Такие суждения назывались базисными, а остальные положения научной теории к ним сводились (редуцировались). Базисное предложение должно было быть «чувственно доступным событием» и не вызывать сомнения: «убежденность должна возникать в случае определенных доступных органам чувств событий, причем таких, что в спорных случаях их содержание можно защитить аргументом: “почему, я же вижу это” или подобным ему... Восприятие укрепляет фундамент убежденности, который считается максимально возможным, но не является вербальным»¹³².

Понятие наблюдения являлось ключевым и при решении вопросов об онтологическом статусе научных понятий. Реальным считалось только то, что наблюдаемо. Термины, которым нельзя было

¹³⁰ Рассел Б. Человеческое познание, его сфера и границы. М.: Ника-Центр, 2001. С. 532.

¹³¹ Рассел Б. Исследование значения и истины. М.: Идея-Пресс, 1999. С. 49.

¹³² Рассел Б. Исследование значения и истины. С. 153.

поставить в соответствие никакого наблюдаемого объекта, назывались теоретическими терминами. Они считались фиктивными, иначе говоря, не соответствующими никакому реально существующему объекту. Введение теоретического, т. е. не сводимого к наблюдению, термина объявлялось всего-навсего удобным методологическим приемом. В итоге, решение вопроса об онтологическом статусе научных понятий существенным образом опиралось на наблюдение.

Задача элиминации метафизики из научного знания также решалась с помощью эмпирической редукции. Термин считался научным, если ему можно было поставить в соответствие какой-либо наблюдаемый объект или явление. Положение считалось научным, если оно содержало только наблюдаемые термины или термины, которые могли быть сведены к наблюдаемым. Поскольку теоретические утверждения должны сводиться к предложениям наблюдения, то теория становилась просто средством систематизации и сокращенной записи фактов и наблюдений. Если термину нельзя было поставить в соответствие какой-либо наблюдаемый объект, то такой термин объявлялся метафизическим и подлежал элиминации, т. е. устранению из науки.

Требование эмпирической проверяемости всех научных предложений привело к тому, что в научности стали отказывать даже общим научным законам, истинность которых не могла быть подтверждена непосредственной эмпирической проверкой. Однако, хотя абсолютизированное требование эмпирической проверяемости не может служить критерием научности, совсем отказываться от него нельзя, так как научные положения должны либо проверяться опытом непосредственно, либо давать возможность выведения проверяемых следствий.

Итак, мы видим, что понятие эмпирической проверяемости сыграло очень большую роль в философии позитивизма. Предполагалось, что понятие наблюдения не является проблематичным. Однако позднее были высказаны некоторые критические аргументы в адрес позитивизма.

Одним из первых сформулировал возражения позитивизму Карл Поппер, который показал, что нельзя установить истинность предложений путем их верификации, тогда как достаточно хотя

бы одного отрицательного свидетельства, чтобы показать ложность предложения. Путем эмпирических проверок предложения могут быть только фальсифицированы. Частное предложение опровергает более общее, но не подтверждает его.

В середине XX в. был проделан критический анализ понятия наблюдения. Позитивисты предполагали, что понятие наблюдения является достаточно ясным, а между теоретическим и наблюдаемым всегда можно провести четкую и однозначную границу. П. Фейерабенд и Т. Кун указали на теоретическую нагруженность наблюдения, а еще позднее Гровер Максвелл показал, что между наблюдаемым и ненаблюдаемым нельзя провести четкой границы. Рассмотрим последние два аргумента более подробно.

3.2.2. Теоретическая нагруженность наблюдения

Интерпретация результатов наблюдения требует привлечения теоретического аппарата, поскольку именно теоретическое истолкование явлений делает возможным употребление инструментов. Вот что пишет по этому поводу П. Дюгем в книге «Физическая теория. Ее цель и строение»: «Было бы совершенно невозможно пользоваться инструментами, которые мы находим в физических лабораториях, если бы мы не заменяли конкретные объекты, представляемые этими инструментами, абстрактным схематическим образом, делающим возможным математическое исследование, если бы мы не подчиняли эту комбинацию абстракций выводам и вычислениям, которые предполагают связь с теориями»¹³³. Поскольку проблема теоретической нагруженности представляет собой одно из самых серьезных препятствий для непосредственного обращения к опыту как фундаменту познания, рассмотрим ее подробнее.

Вопрос о нагруженности наблюдений впервые обсуждался П. Дюгемом в упомянутой книге. Дюгем разделял физический эксперимент на две части. Первая часть – наблюдение фактов, и, для того чтобы наблюдать, достаточно быть внимательным и иметь возможность восприятия. Вторую часть эксперимента составляет интерпретация наблюдений, которая требует знания многих физических теорий и умения их применять. «Физический эксперимент

¹³³ Дюгем П. Физическая теория: Ее цель и строение. СПб.: Образование, 1910. С. 182.

есть точное наблюдение группы явлений, связанное с истолкованием этих явлений. Это истолкование заменяет конкретные данные, действительно полученные наблюдением, абстрактными и символическими описаниями, соответствующими этим данным на основании допущенных наблюдателем теорий»¹³⁴.

Таким образом, Дюгем связывает теоретическую нагруженность только с теоретической интерпретацией наблюдения, считая, что само наблюдение не зависит от наблюдателя и не требует знания теории. Его версию тезиса теоретической нагруженности можно назвать слабой. Более сильное утверждение было сделано Хэнсоном.

Тезис теоретической нагруженности наблюдения был сформулирован Н. Р. Хэнсоном в книге «Образцы открытий», вышедшей в 1958 г.¹³⁵ Норвуд Рассел Хэнсон начал свою книгу с рассмотрения следующего примера: два микробиолога смотрят на амёбу в микроскоп, и на вопрос о том, что они видели, первый отвечает, что видел ядро, митохондрии, цитоплазму и другие клеточные структуры, а второй – что видел органы движения и приема пищи. Разница в ответах обусловлена тем, что первый считает амёбу клеткой, тогда как второй рассматривает ее как животное. Является ли эта разница всего лишь следствием различной интерпретации увиденного? Хэнсон утверждает, что различие здесь гораздо более глубокое: микробиологи действительно видят разное.

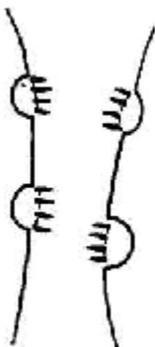
Но как же можно смотреть на один объект, а видеть разные вещи? Один и тот же объект испускает идентичные фотоны, которые вызывают идентичные изменения сетчатки. Однако видят люди, а не их глаза. Мы можем видеть по-разному одну и ту же вещь. Хэнсон подтверждает свою мысль примерами из гештальт-психологии (см. рис.): «Что изображено на этой картинке? Мы отвечаем: медведь лезет по обратной стороне дерева»¹³⁶. Но ведь мы же не видим медведя! Следовательно, наблюдение содержит больше, чем просто видение.

¹³⁴ Дюгем П. Физическая теория. С. 175.

¹³⁵ Hanson N. R. Patterns of Discovery. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1958.

¹³⁶ Hanson N. R. Patterns of Discovery. Ch. 1.

И Хэнсон задается вопросами: как организуется визуальный опыт? как возможно видение?



Наблюдая один и тот же объект, можно видеть разное. Чтобы видеть, должен быть задан контекст, следовательно, контекст – непосредственная часть видения. Поэтому теоретическая нагруженность является необходимым условием видения. Физик и дитя эскимоса, глядя на рентгеновскую трубку, имеют одни и те же визуальные данные, но пути их визуального познания существенно различны, поэтому один из них не воспринимает посредством видения ту же самую вещь, что и другой. Наблюдение – это не просто наличие визуального опыта, это путь, которым приобретает-ся визуальный опыт.

Итак, Хэнсон утверждает, что видение содержит больше, чем чувственные данные, и различие чувственного опыта обеспечивается отнюдь не разной интерпретацией увиденного, – видение происходит *до* любой интерпретации. Теоретическая нагруженность является необходимым условием наблюдения, ибо мы склонны видеть то, что ожидаем увидеть. Сильная версия тезиса теоретической нагруженности состоит в том, что не только интерпретация наблюдения, но и само восприятие зависит от теоретического контекста.

Данная сильная версия тезиса базируется на психологических исследованиях и носит название затруднения Чарчленда¹³⁷. Механизм влияния предшествующего опыта на восприятие, описанный Паулем Чарчлендом, состоит в следующем. Сигналы, идущие в мозг, передаются от нейрона к нейрону. Каждый нейрон связан с другими нейронами с помощью синапсов – отростков нервных клеток. Нервный импульс передается по тому или иному пути с определенной вероятностью, которая зависит от «веса» данной связи, являющегося результатом предшествующего опыта: чем весомее данная связь, тем больше вероятность, что сигнал пойдет именно этим путем. Таким образом, предшествующий опыт влияет

¹³⁷ Churchland P. M. A Neurocomputational Perspective: The Nature of Mind and the Structure of Science. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1989.

на восприятие, именно он создает структуру, которая делает возможным восприятие, а также придает восприятию значение. Задание контекста восприятия активирует ту или иную структуру, определяющую путь нервного импульса, поэтому смена контекста может изменить восприятие.

Хэнсон указывал, что восприятие зависит по крайней мере от трех факторов. Перечислим их в порядке возрастания «теоретичности»:

1) категориальная структура мышления;

2) контекст;

3) ожидание, которое, как правило, интуитивно, но может быть и осознанным. К последнему случаю относятся, в частности, предсказания научной теории.

Проблема заключается в том, что философы под теоретической нагруженностью понимают нагруженность научной теорией. Тезис теоретической нагруженности наблюдения представлял особую опасность именно для позитивистов, так как он лишал опытные данные статуса независимых свидетельств истинности предложений теории, а также содержал опасность порочного круга в аргументации. Большинство философов обращают внимание именно на последнее обстоятельство и пытаются избежать опасности, указывая на то, что теории, используемые для интерпретации и получения наблюдений, с одной стороны, и тестируемая теория – с другой – не совпадают. Иногда дополнительно привлекается рассуждение П. Фейерабенда и Т. Куна о несоизмеримости научных теорий¹³⁸.

Еще один способ «обойти» трудности, связанные с теоретической нагруженностью, – ее отрицание. Этот путь избрал Ян Хакинг. Он обратил внимание на слишком буквальное понимание слов «теоретически нагруженный». Хакинг показал, что в данном случае слово «теоретический» обозначает зачастую не научную теорию, а некие интуитивные представления. «Если хирург характеризует глубокий порез ноги как ранение, – рассуждает Хакинг, – то это подразумевает, что человек получил повреждение в драке или сражении. Такие импликации возникают все время, но, на мой взгляд, их не стоит называть теоретическими допущениями. Эта часть учения о теоретической нагруженности является важным утверждением относительно

¹³⁸ Например, такая аргументация используется в: *Adam M. Why Worry about Theorydependence? Circularity, Minimal Empiricality and Reliability // International Studies in the Philosophy of Science. 2004. V. 18. P. 117-132.*

обыденного языка, которое невозможно обойти. Но из него ни в коем случае не следует, что все отчеты о наблюдении должны нести заряд научной теории»¹³⁹. И далее: «Конечно, если вы хотите называть всякое мнение, предзнание и знание, которое будет изобретено, теорией, то можете поступать и так. Но тогда заявление о теоретической нагруженности ничего не стоит»¹⁴⁰.

Тезис о теоретической нагруженности, считает Хакинг, имеет силу постольку, поскольку позитивисты рассматривали не наблюдения, а отчеты о наблюдениях, однако процесс наблюдения и запись о нем необходимо различать. Это различие позволяет считать наблюдение свободным от теории, а теоретическую зависимость отнести на счет формулировки предложений о наблюдениях. Хакинг подтверждает свою точку зрения примерами дотеоретических наблюдений и наблюдений, не содержащих теоретических предпосылок, связанных с исследуемым предметом.

Проблема теоретической нагруженности наблюдения до сих пор является предметом многочисленных споров и широко обсуждается во многих англоязычных публикациях. Следствие из этой проблемы таково, что, видимо, наблюдение не может использоваться для проверки правильности теории, так как оно само зависит от теоретического знания.

3.2.3. Невозможность провести четкую границу между наблюдаемым и ненаблюдаемым

Позитивисты полагали, что существует четкая граница между наблюдаемым и ненаблюдаемым. Наблюдаемым считалось то, что может наблюдаться непосредственно, невооруженным взглядом. Однако в современной науке наблюдение становится все более опосредованным. В наши дни научный эксперимент проводится с привлечением все более сложной аппаратуры. Философами ставятся вопросы о том, насколько адекватно приборное наблюдение отражает подлинную картину реальности.

Когда инструменты были менее сложными, считалось, что они просто усиливают органы чувств. То, что можно рассмотреть в бинокль, можно увидеть и глазами, если подойти достаточно близко.

¹³⁹ Хакинг Я. Представление и вмешательство: введение в философию естественных наук. М.: Логос, 1998. С. 182.

¹⁴⁰ Там же. С. 186.

При такой интерпретации использование инструментов в наблюдении не может быть источником проблем. Однако усложнение техники наблюдения привело к тому, что многие научные наблюдения трудно назвать «непосредственными». Есть объекты, которые могут быть обнаружены только с помощью приборов; такие объекты являются наблюдаемыми с точки зрения физика, но философ считает наблюдаемым только то, что можно увидеть невооруженным глазом. Догма эмпиризма о существовании четкой границы между наблюдаемым и ненаблюдаемым была раскритикована в статье Гровера Максвелла¹⁴¹, опубликованной в 1962 г.

Основной тезис Максвелла заключается в том, что между наблюдаемым и теоретическим нет четкой границы. Свою аргументацию Максвелл начинает с замечания о том, что такие выражения, как «теоретические сущности» и «дихотомия теоретического и наблюдаемого» являются примерами ошибочных категорий. Термины или концепции являются теоретическими, а сущности могут быть наблюдаемыми и ненаблюдаемыми. Из этого разделения следует два вопроса: можно ли разделить наш язык на теоретическую и нетеоретическую части? можем ли мы расклассифицировать объекты на наблюдаемые и ненаблюдаемые?

Максвелл отвечает отрицательно на оба вопроса. При составлении экспериментальных отчетов мы используем такие слова, как «масса», «импульс» и должны заключить, что наш язык теоретически нагружен теорией. Кроме того, наши «теоретические» знания существенно влияют и на восприятие. Например, покажем человеку из каменного века теннисный мяч. Он не видит, что это – теннисный мяч, поскольку для восприятия теннисного мяча нужно иметь представления об игре в теннис. Следовательно, наш язык существенно нагружен теорией.

Максвелл отрицает также возможность разделять объекты на наблюдаемые и ненаблюдаемые, поскольку наблюдаемость сильнее всего связана с уровнем развития технологии и мощностью инструментов, используемых для наблюдения. Следовательно, существует непрерывная последовательность процессов видения: видеть через воздух, через окно, через бинокль, через оптический микроскоп,

¹⁴¹ *Maxwell G. The Ontological Status of Theoretical Entities // Minnesota Studies in the Philosophy of Science. 1962. V. III. P. 3-27. Русский перевод см.: Максвелл Г. Онтологический статус теоретических сущностей // Философия науки. 2005. № 1(24). С. 20-48.*

через электронный микроскоп. Таким образом, мы не можем провести четкой границы между наблюдаемым и ненаблюдаемым: если гены до изобретения электронного микроскопа считались теоретическими объектами, то теперь мы можем увидеть их в микроскоп. Таким образом, понятие наблюдаемости не предполагает, что данный объект можно увидеть здесь и сейчас. Объект может быть временно ненаблюдаемым по разным причинам, но он может стать наблюдаемым при других, более благоприятных обстоятельствах. Наблюдаемость – это принципиальная возможность видения, поэтому «*X* является наблюдаемым, если существуют условия, такие, что если *X* поместить в эти условия, то мы будем наблюдать его»¹⁴².

Отсюда следует, что наблюдаемость не является четким понятием. В принципе, почти все понятия естественного языка оказываются нечеткими, и это не вызывает особых проблем с пониманием. Однако Максвелл утверждает, что любой термин, который не является логическим, становится возможным кандидатом на статус наблюдаемого термина. В самом деле, если мы не видим объект невооруженным глазом, мы можем взять слабый микроскоп, а если мы не видим его в слабый микроскоп, мы можем взять электронный микроскоп и т. д. Поэтому мы не должны говорить об объектах, что они «принципиально ненаблюдаемы».

Первый аргумент Максвелла касается невозможности провести четкую границу между наблюдаемым и ненаблюдаемым. Второй аргумент Максвелла демонстрирует то, что это различие неважно. Этот аргумент направлен против утверждения позитивистов, что реально только то, что наблюдаемо. «Термин “наблюдаемое” классифицирует предполагаемые сущности (которые могут существовать, а могут и не существовать). Огненная лошадь является наблюдаемой – поэтому мы уверены, что ее нет, – а число семнадцать нет»¹⁴³. Термин наблюдаемое ничего не говорит о существовании объектов. Максвелл приходит к выводу, что наблюдаемость не может использоваться для установления онтологического статуса объектов.

¹⁴² Maxwell G. The Ontological Status of Theoretical Entities. P. 16.

¹⁴³ Ibid. P. 15.

Итак, Максвелл показал, что мы не можем использовать понятие наблюдаемости как основание для утверждения о том, что никакие теоретические объекты не существуют. Но значит ли это, что у нас есть основания утверждать: объекты, постулируемые хорошо подтвержденными научными теориями, реально существуют? Максвелл считает, что да и что мы должны верить в реальность таких объектов, поскольку наблюдаемость постулируемого теорией объекта больше зависит от уровня развития технологии, чем от его природы. Аргумент Максвелла о непрерывности процесса видения критиковался как реалистами, так и антиреалистами. Рассмотрим наиболее существенные критические аргументы.

Критика Г. Максвелла со стороны реалистов

Аргумент о непрерывности процесса видения критиковался Я. Хакингом, который указал, что философы очень мало знают о наблюдательных приборах, в частности о микроскопах: «световой микроскоп – чудо из чудес. Он работает не так, как предполагает большинство необразованной в этих вопросах публики. Зачем философу знать, как он работает? Затем, что это одно из средств исследования реального мира»¹⁴⁴. Суть аргумента Хакинга в том, что мы не «видим» с помощью микроскопа в том смысле, в котором обычно употребляется понятие «видеть». Поэтому мы не можем говорить о «континууме видения: смотрение в окно, смотрение в очки, смотрение в бинокль, смотрение в микроскоп малой мощности, смотрение в микроскоп большой мощности и т. д.»¹⁴⁵. Смотрение в слабый микроскоп принципиально отличается от смотрения в сильный микроскоп. Строго говоря, «мы не видим с помощью микроскопа».

Обычно мы видим отраженный свет. Однако при наблюдении достаточно малых объектов существенной становится дифракция. Примером дифракции является эксперимент с прохождением света через узкую щель. Когда электроны, или видимый свет, проходит через узкую щель, то частицы отклоняются на более или менее значительный угол. Это следствие волновой природы света. Когда объект наблюдается в микроскоп, большая часть света подвергается дифракции и отклоняется на различные углы. Следовательно, с рос-

¹⁴⁴ Хакинг Я. Представление и вмешательство. М.: Логос, 1998. С. 197.

¹⁴⁵ Там же. С. 199.

том увеличения изображение будет все более и более размываться. Но увеличение бессмысленно, если несколько точек будут сливаться в одно большое пятно.

Проблемой увеличения разрешающей способности микроскопов занимался Э. Аббе (1840–1905). Аббе понял: чтобы две точки давали два разных образа, необходимо собрать не только основной прошедший свет, но и дифракционные лучи, отклоненные на небольшие углы. «То, что мы видим, на самом деле лучше всего представляется как Фурье-синтез прошедших и рассеянных лучей. Таким образом, согласно Аббе, образ предмета производится интерференцией лучей света, излучаемых основным источником, и вторичными образами источников света, являющихся результатами дифракции»¹⁴⁶.

Дальнейшее развитие микроскопов вело к использованию новых свойств света помимо отражения, преломления и дифракции. Для наблюдения живых прозрачных тканей, невидимых в обычный световой микроскоп, но по-разному поляризующих свет, был использован поляризационный микроскоп. Таким образом, «мы не нуждаемся в обычной физике зрения для того, чтобы воспринимать структуры в живой ткани»¹⁴⁷. Чтобы исследовать структуру предмета, можно использовать любое свойство любого волнового явления. Ультрафиолетовый микроскоп, интерференционный микроскоп, фазовый контрастный микроскоп, электронный микроскоп – все они используют различные свойства излучений разного типа, и «не может существовать никакого сравнения» между видением с использованием различных микроскопов, поэтому мы не можем говорить о непрерывной последовательности видения.

Итак, со стороны реалистов был высказан аргумент, указывающий на существенное отличие различных процессов видения. Это возражение показывает несостоятельность аргумента Максвелла о «континууме» видения. Следовательно, проблема наблюдаемости более сложная и требует детального анализа. Это актуально также в связи с широким применением в науке методов математического моделирования. Так, ученые утверждают, что компьютер дает возможность «наблюдать» поведение отдельной молекулы, тогда как

¹⁴⁶ Хакинг Я. Представление и вмешательство же. С. 206.

¹⁴⁷ Там же. С. 208

обычное наблюдение позволяет следить только за ансамблем молекул. Конечно, вопрос о ценности таких компьютерных «наблюдений» для проверки теорий или для подтверждения онтологического статуса «наблюдаемых» объектов является весьма непростым.

Ответ антиреалистов

Несколько критических аргументов было высказано и из противоположного лагеря – со стороны антиреалистов. Г. Максвелл указывал, что такая критика будет несущественной до тех пор, пока не будет построена альтернативная модель развития науки. В 1980 г. ван Фраассен в работе «Научный образ»¹⁴⁸ предложил новый философский подход, названный им «конструктивным эмпирицизмом». Этот подход служит альтернативой для позиции научного реализма. Рассмотрим критику аргументов Максвелла со стороны антиреалистов.

Критика ван Фраассена касается, в основном, двух аргументов. Во-первых, он также подвергает сомнению правильность утверждения Максвелла о непрерывности видения. Во-вторых, он считает, что Максвелл несколько преувеличил нечеткость понятия наблюдения. Рассмотрим эти критические аргументы подробнее.

Ван Фраассен утверждает, что Максвелл выбрал континуум, нерелевантный разделению *вещей* на наблюдаемые и ненаблюдаемые. Максвелловский континуум, скорее, соответствует методам или условиям наблюдения. Более релевантным был бы континуум, прослеженный от ясно наблюдаемых вещей к ясно ненаблюдаемым вещам. Например, этот континуум мог бы быть следующим: слон, птица, блоха, бактерия, вирус, атом, электрон.

Что касается учета условий наблюдения, то ниоткуда не следует, что объект, наблюдаемый только с помощью приборов, можно считать наблюдаемым. Если кусок гранита можно разбить кувалдой, следует ли говорить о том, что гранит хрупкий? Если мы можем увидеть вирусы только в электронный микроскоп, следует ли говорить о том, что они наблюдаемы? Конечно, в некоторых случаях то, что наблюдается с помощью приборов, можно увидеть и непосредственно. Например, если мы видим в телескоп луны Юпитера, то мы, в принципе, можем полететь к Юпитеру и увидеть их непосредственно. Но это отнюдь не значит, что такая ситуация имеет место во всех случаях. Например, если мы видим амебу только

¹⁴⁸ *Fraassen van B. C. The Scientific Image. Oxford: Oxford Univ. Press, 1980.*

в микроскоп, мы не можем сжаться до микроскопических размеров, чтобы ее увидеть. Следовательно, мы не можем называть наблюдаемым то, что можно наблюдать только с помощью приборов.

Ван Фраассен существенно использует понятие наблюдаемости в своей концепции, в частности, для создания образа научной теории: «Цель науки – давать нам теории, которые эмпирически адекватны, а принятие теории влечет за собой веру только в то, что она эмпирически адекватна»¹⁴⁹. Именно для определения базового понятия своей концепции – эмпирическая адекватность – Ван Фраассен использует понятие наблюдаемости: «теория эмпирически адекватна в точности тогда, когда то, что она говорит о наблюдаемых вещах и событиях в этом мире, является истиной; в точности тогда, когда она ‘сохраняет явления’»¹⁵⁰. И чтобы понятие эмпирической адекватности не оказалось настолько широким, что под него подошла бы любая научная теория, ван Фраассену важно было сохранить различие между наблюдаемым и ненаблюдаемым. Поэтому он обсуждает это различие и с лингвистических позиций.

Ван Фраассен соглашается с тем, что «наблюдаемое» является нечетким понятием, т. е. существуют граничные случаи, которые трудно однозначно отнести как к наблюдаемым, так и к ненаблюдаемым. В обыденном языке многие термины являются нечеткими, например, бывает трудно провести границу между красным и оранжевым, но это не является основанием отрицать существование красного. Следовательно, из трудности проведения четкой границы между наблюдаемым и ненаблюдаемым некорректно делать вывод о несуществовании ненаблюдаемого, заключает ван Фраассен.

Ван Фраассен обсуждает также фантастическую ситуацию, придуманную Г. Максвеллом, о появлении в научном сообществе мутанта, способного видеть ультрафиолетовый свет, а также другие виды излучения. Появление такого мутанта, по мнению Г. Максвелла, позволило бы включить в разряд непосредственно наблюдаемого то, что не воспринимается в видимом свете, т. е. сделало бы понятие «наблюдаемости» еще более неопределенным. Ван Фраассен сравнивает использование слова «наблюдаемый» с использованием слова «портативный». Допустим, максвелловский мутант воспринимает Останкинскую башню как портативную, но

¹⁴⁹ Fraassen van B. C. The Scientific Image. P. 12.

¹⁵⁰ Ibid.

это не значит, говорит ван Фраассен, что она действительно порта- тивная. Возможно, мутант иначе использует это слово или вкладыва- вает в него совсем другой смысл. Аналогичные рассуждения при- менимы и в случае использования слова «наблюдаемый». Поэтому мы должны исключить возможность того, что мутант использует слово «наблюдаемый» в другом смысле, и понимать под наблюдае- мым только то, что могут воспринимать люди, подобные нам.

Каким был бы возможный ответ Гровела Максвелла на приве- денную критику? Вероятно, в ответ на первый аргумент ван Фраас- сена Максвелл указал бы, что он сам в своей работе выстраивал и континуум ненаблюдаемых вещей – от крупных кристаллов, ко- торые представляют собой молекулы, до атомов. На лингвистиче- ский аргумент о нечеткости понятий Максвелл мог бы возразить, что в случае нечетких понятий мы можем уточнить границу, на- пример, измерив длину волны и введя конвенцию, что считать красным, а что оранжевым. Однако мы не можем сделать подобного уточнения в случае понятия наблюдения, поэтому у нас все еще есть основания для исключения «ненаблюдаемого». В ответ на кри- тiku ситуации с мутантом Максвелл мог бы указать, что нам не на- до обращаться к фантастическим ситуациям, чтобы найти людей с различными чувственными способностями. Одни имеют острое зрение, другие близоруки. На основе чьих именно чувственных способностей мы должны определять понятие наблюдаемости?

Подведем итоги. По поводу понятия наблюдаемости довольно долго происходили ожесточенные дискуссии. Следует сказать, что процесс наблюдения во многом остается неясным и требует деталь- ного анализа как со стороны философов, так и со стороны психоло- гов. Значение понятия наблюдаемости для построения критерия де- маркации науки и ненауки состоит в том, чтобы отличать предло- жения научные, т. е. проверяемые, от ненаучных, или непроверяе- мых. Требование проверяемости позволяет предотвратить появле- ние в науке понятий, которым ничего реально не соответствует.

Теоретическое знание опирается на гипотезы, и следователь- но, недостоверно. Ошибочными могут оказаться и предположе- ния о существовании некоторых объектов (наиболее известные примеры: теплород, флогистон, эфир). Ученых, не озабоченных поиском абсолютной истины, такое положение вполне устраи-

вают: они видят в подобной ситуации условия для дальнейшего развития научного знания.

Если гипотеза о существовании какого-либо объекта оказывается ошибочной, то вся теория может быть отброшена: «Современная физика достигла своих крупнейших успехов в немалой степени с помощью применения методологического принципа, согласно которому понятия, относящиеся к различиям за пределами возможного опыта, не имеют физического смысла и должны быть элиминированы»¹⁵¹.

Возможно, следует потребовать в принципе избегать пустых терминов при разработке научных теорий. Однако развитию науки они не мешают: «в теориях всегда существует «хлам» ненужных понятий, без них наука перестала бы развиваться»¹⁵². Тем не менее наличие «пустого термина» в теории является мнусом для нее и может послужить поводом для элиминации.

В заключение скажем, что применение принципа наблюдаемости возможно при привлечении некоторых дополнительных понятий. Во-первых, требуется отличать принципиально ненаблюдаемые понятия от теоретических терминов, которым не может быть сопоставлен напрямую какой-либо объект. Во-вторых, требование эмпирической проверяемости применимо не ко всем предложениям теории, поэтому необходимо привлекать логический анализ структуры теории и формы ее предложений. Принцип эмпирической проверяемости должен использоваться только наряду с другими принципами и концептуальными картами теории.

На этом закончим наш обзор основных мнений относительно наблюдаемости и сформулируем итоговое определение. Под *эмпирической проверяемостью* обычно понимают возможность вывода проверяемых следствий, т. е. таких предложений, которые могут быть либо верифицированы, либо фальсифицированы. В ходе анализа ряда научных теорий мы столкнулись со следующими случаями:

1) Предложения теории формулируются в терминах наблюдения. Пример: все эмпирические законы.

¹⁵¹ Борн М. Физика в жизни моего поколения. М., 1963. С. 163.

¹⁵² Там же.

2) Объекты или явления, вводимые теорией, не наблюдаются непосредственно, но вызывают явления, которые можно наблюдать. Пример: электрон, не наблюдаемый непосредственно, оставляет след в камере Вильсона.

3) Термин, зависящий от наблюдаемых величин, не имеет денотата, тогда как все величины, от которых он зависит, измеримы. Пример: энтропия выражается как отношение количества теплоты к температуре. Явный физический смысл имеет изменение энтропии, которое понимается как мера превращения теплоты в работу.

4) Наличие в теории принципиально ненаблюдаемых понятий. Если теория содержит принципиально ненаблюдаемые понятия, мы будем считать ее в этой части непроверяемой.

Итак, итоговое определение эмпирической проверяемости:

Теория является *эмпирически проверяемой*, если из нее выводятся наблюдаемые следствия и она не содержит ни одного принципиально ненаблюдаемого термина, т. е. термина, который не наблюдается непосредственно и не выражается через измеримые величины.

3.3. Соответствие теории экспериментальным данным*

3.3.1. Позиция фальсификационизма

Философы не меньше, чем ученые, придают значение соответствию теории фактам. Самую значительную роль такому соответствию приписывал К. Поппер, считавший, что фальсифицированная теория должна быть отброшена. Это сильное требование никогда не выполняется в научной практике: каждая теория время от времени сталкивается фактами, которые она в данный момент не может объяснить. Лакатос, развивая идеи Поппера, несколько смягчил данное требование. Он тоже предполагал, что для теории существует некий решающий эксперимент, который может ее фальсифицировать. Однако отброшена может быть только та теория, которая имеет конкурентку – более

* Часть данного текста была опубликована в виде статьи, см.: *Сторожук А. Ю.* Проблема определения соответствия теории фактам // *Философия науки.* 2003. № 1(16). С. 89-101.

сильную альтернативную теорию. Пока подобной альтернативы нет, ученые будут сохранять старую теорию за неимением лучшей.

Против позиции фальсификационизма имеется несколько возражений, высказанных Фейерабендом. Одно из них заключается в том, что фальсифицированная теория не отбрасывается, т. е. позиция наивного фальсификационизма, сформулированная Поппером, не соответствует действительности. Кроме того, теория может быть приведена в соответствие с фактом путем дополнительных гипотез, которые впоследствии могут быть подтверждены. Далее, отброшенной может оказаться не теоретическая основа, а экспериментальный факт.

Лакатос подчеркнул, что теория редко приходит в прямое противоречие с фактами, однако не менее сложно добиться и полного соответствия теории фактам. По мнению ученых, ни одна теория никогда не соответствует абсолютно всем фактам. Это связано с тем, что выведение эмпирических законов основано на аппроксимации экспериментальных данных. Вот как описывает процесс вывода эмпирических теорий Пуанкаре: «без обобщения невозможно и предвидение. Условия произведенного опыта никогда не повторяются в точности. Наблюденный факт никогда не начинается сначала; единственное, что можно утверждать, – это что при аналогичных условиях произойдет аналогичное явление. Поэтому, чтобы предвидеть, надо по крайней мере опираться на аналогию, т. е. обобщать.

Как бы робок ни был исследователь, ему необходимо делать интерполяцию; опыт дает нам лишь некоторое число отдельных точек: их надобно соединить непрерывной линией, и это – настоящее обобщение. Этого мало: проводимую кривую строят так, что она проходит между наблюдаемыми точками – близ них, но не через них. Таким образом, опыт не только обобщается, но и подвергается исправлению; а если бы физик захотел воздержаться от этих поправок и на самом деле удовольствоваться голым опытом, то ему пришлось бы высказывать очень странные законы»¹⁵³.

¹⁵³ Пуанкаре А. О науке. М.: Наука, 1990. С. 118.

Таким образом, законы представляют собой некоторое обобщение опытных фактов и потому не совпадают с ними абсолютно точно. Тем самым вопрос о соответствии данных эксперимента и предсказаний теории становится острым. Точное соответствие между предсказаниями теории и экспериментальными данными не достигается, оценка соответствия теории и эксперимента дается в пределах некоторой погрешности. Следовательно, чтобы эксперимент мог служить для проверки правильности теории, он должен обладать требуемой точностью. Достижимая точность эксперимента должна превосходить точность, которая обусловлена целью проведения эксперимента, или, по крайней мере, с нею совпадать. При этом экспериментальные ошибки являются практически неотъемлемой частью научных экспериментов: «Действительно, любой, кто когда-либо работал в лаборатории или с измерительными инструментами, знает, что простые законы природы, так ясно сформулированные в элементарных и популярных трактатах, никогда не подтверждаются абсолютно точно»¹⁵⁴. Однако возможно, что это несоответствие вызвано неточностью теории, а не ошибками эксперимента. В этом случае расхождения в предсказаниях теории и данных экспериментов могут сыграть эвристическую роль, так как указывают на необходимость изменить теорию и уточнить ее положения. М. Полани пишет: «Я каждый час нахожу, что законы природы формально противоречивы, но я объясняю это без предположения об экспериментальных ошибках. Я знаю, может случиться, что мы однажды не объясним фундаментальное новое открытие и упустим великое открытие. Такое часто случилось в истории науки»¹⁵⁵.

¹⁵⁴ *Hon G. Experimental Errors: an Epistemological View // Philosophy of the Natural Science. Austria, 1988. P. 369.*

¹⁵⁵ *Polanyi M. Science, Faith and Society. Chicago, 1964. P. 31.*

3.3.2. Эвристическая роль соответствия теории экспериментальным данным

Рассмотрим открытие законов Кеплера в качестве примера того, как стремление к точности соответствия между экспериментальными данными и теоретическим законом привело к фундаментальному открытию.

Согласно первому закону Кеплера, планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которого находится Солнце. Второй закон Кеплера гласит, что радиус-вектор, проведенный от Солнца к планете, за одинаковое время заметает сектора равной площади. В третьем законе утверждается, что квадраты периодов обращения планет относятся как кубы их средних расстояний. Первые два закона были открыты в результате изучения движения Марса, орбита которого отличается от круговой значительно больше, чем орбиты Земли или Луны.

Кеплер изучал движения Марса, опираясь на экспериментальные данные, собранные Тихо Браге. Сначала Кеплер попробовал построить модель движения Марса, предполагая, что Марс движется по круговой орбите, однако потерпел неудачу. Трудности определения формы орбиты Марса связаны, в частности, с тем, что астрономы вели наблюдения с движущейся Земли. Кеплеру было необходимо определить движение Земли и, решая эту задачу, он получил промежуточный результат: время прохождения планетой длины дуги орбиты пропорционально расстоянию от Солнца.

Чтобы эта гипотеза выглядела правдоподобной, Кеплер вводит понятие силы, вызывающей движение. Согласно гипотезе Кеплера, «источником движения планет является Солнце, которое, вращаясь, испускает поток особых частиц (*species immaterialiata*), которые, сталкиваясь с планетой, движут ее по окружности. Однако поток таких частиц может обусловить лишь движение по такой окружности, у которой Солнце располагается в центре»¹⁵⁶. Чтобы планета могла двигаться иначе, Кеплер наделяет ее собственной силой, управляющей движением планеты, позволяя ей то удаляться от Солнца, то приближаться к нему. Приняв это объяснение, Кеплер стал проверять гипотезу

¹⁵⁶ Кирсанов В. С. Научная революция XVII в. М., 1987. С. 113.

о том, что время движения пропорционально пройденному расстоянию.

Если время пропорционально расстоянию, то промежутки времени, согласно Кеплеру, будут пропорциональны сумме всех расстояний, содержащихся в секторе соответствующей дуги. Однако, чтобы вычислить площадь сектора, нужно было найти значение интеграла по дуге кривой. Тогдашний уровень математики не позволял это сделать, и Кеплер, чтобы обойти математические затруднения, прибегнул к аппроксимации площади сектора суммой площадей соответствующих треугольников. «Он открыто призывал математиков присоединиться к нему в усилиях отыскать точную меру суммы расстояний»¹⁵⁷.

Данный приближенный метод давал довольно точное совпадение наблюдений и расчетов, но «для Марса, эксцентриситет в 5,5 раз больше (чем у Земли – А. С.), расхождение данных наблюдения с расчетами истинной аномалии, основанными на законе площадей и гипотезе круговой орбиты, получалось равным восьми минутам»¹⁵⁸. Несмотря на то, что обычной точностью наблюдений тогда было 10 минут, Кеплер не удовлетворился достигнутым. Дальнейшие поиски более точного совпадения привели Кеплера к открытию эллиптичности орбит.

Расхождение в восемь минут не могло быть погрешностью вычисления площади, и Кеплер пришел к выводу, что орбита Марса не является окружностью. Сравнивая данные наблюдений и расчеты орбиты Марса, Кеплер первоначально предположил, что формой орбиты Марса является овал. В конце 1604 г. Кеплер пришел к выводу, что его предположение об овальной форме неверно, так как получались слишком большие расхождения между расчетами и наблюдениями. Ошибки для круга и овала были численно равными, но противоположными по знаку, следовательно, истина лежала где-то посередине. Однако несмотря на то, что между окружностью и овалом помещается эллипс, Кеплер долгое время не принимал гипотезу об эллиптичности орбиты, так как она не была обоснована физическими законами.

¹⁵⁷ Кирсанов В. С. Научная революция XVII в. С. 115.

¹⁵⁸ Там же. С. 115-116.

«Наконец, после шести лет невообразимых усилий, – восклицает Артур Кёстлер, автор одной из лучших биографий Кеплера, – он нашел секрет марсианской орбиты. Он смог найти формулу, согласно которой изменяется расстояние планеты от Солнца в зависимости от ее положения. В этой простой формуле выражен математический закон природы (имеется в виду выражение для диаметрального расстояния $r = 1 + e \cos \beta - B$. К.) Но он все еще не понимал, что именно эта формула и обозначает в точности, что орбитой является эллипс»¹⁵⁹.

Чтобы выяснить физическую природу отклонения, Кеплеру пришлось значительно изменить модель Вселенной, заменив силы магнитным взаимодействием планет. Кеплер все еще представлял себе орбиту овальной, и когда после построения новой модели (*via buccasa*) он получил расхождение с наблюдаемыми данными в пять минут, то Кеплер отказался и от этой модели. «Он был в отчаянии. Но вдруг благодаря внезапной вспышке озарения он решил переместить планету с радиуса эксцентрика на перпендикуляр к оси апсид»¹⁶⁰, а эта точка принадлежала эллипсу. Предположение об эллиптической орбите и использование закона площадей позволяли вывести правильное уравнение, а теория либрации, которая была физически обоснована, давала для этого уравнения правильные расстояния.

Таким образом, в результате тяжелейшего труда Кеплер пришел к открытию, критерием правильности которого служило именно совпадение расчетных данных и результатов наблюдений.

3.3.3. Эвристическая роль экспериментальных ошибок

Ученый должен быть уверен в надежности экспериментальных данных, чтобы использовать их для проверки теории. Поэтому, по возможности, следует избегать экспериментальных ошибок. Вопрос об ошибках эксперимента был подробно исследован Гиорой Хоном, который выделил четыре стадии в прове-

¹⁵⁹ Кирсанов В. С. Научная революция XVII в. С. 118.

¹⁶⁰ Там же. С. 120.

дении эксперимента и исследовал возможные источники ошибок на каждом из этапов¹⁶¹:

1. теоретическое конструирование эксперимента;
2. конструирование аппаратов и проведение работы;
3. наблюдение или считывание данных;
4. производство записи данных и их интерпретация¹⁶².

В соответствии с данной классификацией, экспериментальные ошибки можно рассматривать как погрешности, появляющиеся в:

1. опытных (background) теориях;
2. предположениях относительно экспериментальных установок (actual set-up) и их работы;
3. отчетах о наблюдениях;
4. теоретических заключениях.

Г. Хон разбирает каждый из этих случаев более подробно.

1) *Опытные теории*. Простейшее наблюдение происходит в рамках экспериментальной теории, которая «подводит фундамент под экспериментальные следствия и, таким образом, детерминирует их и управляет ими»¹⁶³. Различаются основные теории и инструментальные теории; последние принимаются, чтобы управлять созданием приборов для эксперимента. Среди инструментальных теорий есть та, которая управляет созданием самой установки и специфицирует ее параметры. Ученый, использующий прибор, не обязан быть знакомым с теориями, лежащими в основе работы прибора.

На этом этапе экспериментальная ошибка может появляться как следствие использования ложной теории.

¹⁶¹ См., напр.: *Hon G. Towards a Typology of Experimental Errors: an Epistemological View // Stud. Hist. Phil. Sci.* 1989. V. 20. P. 469-504; *Hon G. Going Wrong: to Make a Mistake, to Fall into an Error // Review of Metaphysics.* 1995. V. 49. P. 3-20. *Hon G. Experimental Errors: an Epistemological View // Philosophy of the Natural Sciences. Proceedings of the 13th International Wittgenstein symposium, 14th to 21st August 1988. Austria, 1989. P. 368-376; Hon G. Can the Monster Error be Slain? Error – a Deep Rooted Feature of the Method of Experimentation that Has Been Ignored // International Studies in the Philosophy of Science. 1991. V. 5. P. 257-268.*

¹⁶² *Hon G. Experimental Errors: an Epistemological View // Philosophy of the Natural Sciences. Proceedings of the 13th International Wittgenstein symposium, 14th to 21st august 1988. Austria, 1989. P. 369.*

¹⁶³ *Ibid.* P. 370.

Пример. Ф. Эренхафт определял силу сопротивления, испытываемую твердым шаром при поступательном движении в вязкой жидкости в предположении, что для частицы, падающей между пластинами конденсатора, выполняется закон Стокса. Использование этого закона позволяло определить скорость осаждения мелких капель¹⁶⁴. Однако Эренхафт взял слишком маленькие металлические частицы, размеры которых были меньше, чем размеры капель масла в эксперименте Милликена, а «их поверхность была неровной и нерегулярной в противоположность гладкой поверхности капелек»¹⁶⁵. Закон Стокса был неприменим в этих физических условиях, и Эренхафт пришел к неверному заключению о существовании дробных зарядов электрона.

2) *Предположения относительно экспериментальных установок и их работы*

Второй этап – этап конструирования – представляет собой воплощение теоретических разработок. Данный этап включает установку оборудования (hardware) и оперирование им. В процессе конструирования и установки различного оборудования, требуемого для эксперимента, экспериментатор делает многочисленные предположения. Они касаются соответствия собираемой установки различным спецификациям или того, как эти спецификации учитывают любые изменения, которые могут случиться в ходе эксперимента. В основном ошибки на этапе конструирования происходят от уверенности в том, что установка удовлетворяет всем требованиям, включая определенные начальные условия. Однако фактически эти требования могут не выполняться: вакуум может быть плохим; электрические и магнитные поля могут не быть достаточно однородными; может случиться пробой изоляции; могут иметь место конвекционный ток или диффузия.

3) *Отчеты о наблюдениях*

В процесс наблюдения вовлечены чувства перцепции, которые могут привести к ошибкам из-за таких факторов, как слабая светочувствительность глаза, замедленная реакция и т. п. Поскольку данные органов чувств зависят от условий, в которых

¹⁶⁴ Физический энциклопедический словарь. М., 1983. С. 725.

¹⁶⁵ *Hon G. Experimental Errors: an Epistemological View.* P. 371.

проводится наблюдение, необходимо учитывать влияние обстоятельств, могущих исказить восприятие. «Ошибки наблюдения происходят, когда наблюдатель делает корректное наблюдение, но неверно рассматриваются внешние обстоятельства, при которых наблюдение имело место»¹⁶⁶. Например, экспериментатор может провести неверное измерение из-за наличия расстояния между указателем и шкалой, если прибор находится не строго напротив глаз. Такие ошибки носят, как правило, систематический характер и, следовательно, могут быть учтены.

4) *Теоретические следствия*

Чтобы прийти к конечному выводу, экспериментатор анализирует полученные данные и затем сопоставляет результат анализа с внешней теорией, так что итоговый результат может использоваться для подтверждения или опровержения теоретических гипотез.

Заключительная стадия проведения эксперимента включает в себя два процесса:

- 1) процесс редукции, т. е. анализа данных с точки зрения получения связного и последовательного результата;
- 2) процесс интерпретации этого результата.

В первом процессе при обработке результатов применяется математическая теория, которая выявляет систематические и случайные ошибки. На этой стадии ошибки могут появляться из-за неправильного выбора типа распределения результатов измерений. Ошибки могут случиться также из-за неправильной оценки систематических ошибок.

В процессе интерпретации экспериментальных данных ошибки могут быть сделаны по двум причинам. Во-первых, из-за неправильного понимания физического результата. В этом случае ошибки интерпретации влекут за собой логические ошибки. Во-вторых, ошибки появляются из-за неправильного объяснения.

Примером появления ошибки из-за неверной интерпретации экспериментальных данных может послужить история открытия планеты Уран астрономом Гершелем (William Herschel). Он обнаружил объект, движущийся относительно других звезд. Пона-

¹⁶⁶ Ibid. P. 372.

чалу астроном принял его за комету, о чем и доложил Королевскому обществу. Астрономы попытались рассчитать орбиту предполагаемой кометы в предположении, что она является параболической, однако данные их расчетов расходились с наблюдениями. Только через несколько месяцев было выяснено, что наблюдаемый объект является планетой.

Итак, соответствие теории эмпирическим данным определяется не только правильностью теории, но и точностью измерений и отсутствием экспериментальных ошибок.

Рассматривая научные теории, мы пришли к выводу, что теория *соответствует фактам* если она соответствует каждому факту или эксперименту в ее области приложения. Новая теория может быть построена так, чтобы объединить известные эмпирические законы. Соответствие эмпирическим законам также будем классифицировать как соответствие фактам. Нами выделены следующие случаи:

1) Полное соответствие. Теория специально строилась так, чтобы объяснять все известные факты. Пример: Максвелл ввел уравнения поля так, чтобы они давали соответствие с экспериментальными данными.

2) Неполное соответствие данных с результатами расчетов и измерений. При этом точность соответствия больше, чем погрешности измерений. Примером служит уже рассмотренная нами история установления Кеплером формы орбиты Марса.

3) Новая теория противоречит фактам, которые кажутся очевидными. Если теория не соответствует известным фактам, то она должна доказать их несостоятельность. Пример: гипотеза дифракции Френеля противоречила, казалось бы, очевидному факту. Согласно гипотезе Френеля в середине тени, отбрасываемой круглым диском, должно быть светлое пятно. Эксперимент, поставленный Френелем на заседании Парижской академии наук, подтвердил правильность этого вывода.

4) Теория соответствует фактам в той области, для которой она первоначально разрабатывалась, но дает расхождение с данными эксперимента при попытках распространить ее на другие явления. Примером является теория атома Бора, которая обеспечивала соответствие экспериментальным данным для

атома водорода и не соответствовала им в случае многоэлектронных систем.

5) Из теоретических представлений следует существование не всех явлений, которые имеют место в действительности, т. е. явлений больше, чем предсказывает теория. Примером служит теория атома Зоммерфельда, которая предсказывала некоторые спектральные линии, но на самом деле их было гораздо больше.

Заметим, что лжеученые сами могут фальсифицировать эксперименты, поэтому необходимо ввести требование воспроизводимости экспериментов независимыми группами исследователей. Теперь попробуем дать итоговое определение соответствия теории фактам. Для этого мы вынуждены потребовать соответствия теории *всем фактам* из области приложения теории. Это требование является довольно жестким, поскольку научную теорию пытаются распространить в новые области и применить для объяснения новых явлений, и поначалу она очень часто не соответствует новым данным. Однако мы не можем ослабить наше требование, поскольку даже из множества астрологических предсказаний могут найтись некоторые, соответствующие фактам. А разрешение на соответствие теории только *некоторых фактов* введет слишком большой произвол, поскольку здесь имеет место парадокс кучи. Соответствует ли теория фактам, если она согласована с 6 из 10 фактов? А с 5 из 10? Ослабление требования соответствия всем фактам сделает оценку наличия или отсутствия этого свойства делом конвенции.

Ситуацию, подобную случаю с моделью атома водорода Бора, можно корректировать через введение понятия области применения теории. Напомним, что мы считаем теорию достигшей границ своей применимости, если в новой области приложения не определены некоторые понятия. В данном случае не было определено квантование излучения для многоэлектронных систем. Позднее ввели способы квантования таких систем, а теория атома Бора была распространена на многоэлектронные атомные системы. Случаи неполного описания реальности, как в примере с теорией атома Зоммерфельда, мы будем оценивать положительно, т. е. считать, что имеет место соответствие теории фактам.

Итак, теория соответствует *известным фактам* в своей области приложения, если все проверяемые следствия теории совпадают с данными измерений в пределах ошибки измерений для любых эмпирических законов и всех известных фактов, которые воспроизводятся всеми независимыми исследователями.

3.4. Объяснительная и предсказательная сила теории. Краткий обзор основных моделей объяснения

Объяснение является одной из важных задач научной теории. Под объяснением понимают либо подведение под закон, либо указание причины явления, либо установление происхождения изучаемого объекта. В философии науки проблема научного объяснения разрабатывается с 1960-х гг. XX века. С тех пор многие философы уделяли внимание этой проблеме и в настоящее время в западной литературе представлено множество моделей объяснения. Конечно, в рамках данного текста невозможно дать сколько-нибудь обширный обзор всех подходов к решению проблемы объяснения, поэтому мы коснемся только основных, самых известных моделей. Часто следуя В. Салмону, выделяют¹⁶⁷ пять периодов – пять десятилетий, каждое из которых посвящено, в основном, разработке той или иной модели.

В период с 1948-го по 1957-й г. разрабатывалась преимущественно дедуктивно-номологическая модель (ДНМ), предложенная Гемпелем. В ее основе лежит понятие научного закона. Затем (1958–1967 гг.) эту модель пытались распространить на случай вероятностных законов и статистических корреляций. В результате на базе ДНМ были созданы дедуктивно-статистическая и индуктивно-статистическая модели. В период с 1978-го по 1981-й год было разработано сразу несколько моделей: Хамфрис (Paul Humphreys) предложил случайную модель научного объяснения, а ван Фраассен – прагматическую. И наконец, модели объяснения с 1990-х гг., в основном, разрабатываются в рамках такого философского течения, как научный реализм. В этой параграфе мы рассмотрим следующие темы:

- 1) ситуация до появления первых моделей объяснения;
- 2) модель интертеоретической редукции Нагеля;
- 3) дедуктивно-номологическая модель Гемпеля;
- 4) дедуктивно-статистическая модель Гемпеля;
- 5) прагматическая модель ван Фраассена;
- 6) унификационная модель научного объяснения Китчера;
- 7) случайная (Aleatory) модель научного объяснения;
- 8) статистически-релевантная модель Салмона.

¹⁶⁷ Salmon W. Four Decades of Scientific Explanation // Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, 1989. P. 3-219.

В заключение мы предпримем попытку классификации перечисленных подходов, а сейчас более подробно рассмотрим основные модели объяснения.

3.4.1. Ситуация до появления первых моделей объяснения. Позиция П. Дюгема: научная теория не должна объяснять факты

При описании «дотеоретического» периода в истории моделей объяснения ссылаются, как правило, на Дюгема, обозначившего в 1906-м г. свою точку зрения на этот вопрос в труде «Физическая теория. Ее цель и строение»¹⁶⁸. Дюгем обсуждает правомерность двух позиций. Приверженцы одной из них считают, что цель физической теории – объяснить экспериментальные факты или закономерности; приверженцы другой полагают, что «всякая физическая теория... есть абстрактная система, имеющая целью резюмировать и логически классифицировать группу экспериментальных законов, не претендуя на объяснение их»¹⁶⁹.

Что такое объяснение? Объяснять – значит вскрывать сущность явлений, однако наблюдение физических явлений приводит нас к соприкосновению с чувственными феноменами, а не с их сущностью, считает Дюгем. Если мы стремимся объяснять явления, то мы должны предполагать реальность, стоящую за явлениями. Таким образом, приписывание научной теории функции объяснения ведет к привнесению метафизики в науку. Однако ни одна метафизическая система не может быть достаточной в качестве основы физической теории, так как проверяемые следствия не вытекают из метафизических принципов с необходимостью. Кроме того, далеко не все научные положения могут быть выведены из какой-либо метафизической системы.

Если поставить цель – сделать науку независимой от метафизики, то мы не должны считать физическую теорию объяснением. «Физическая теория не есть объяснение. Это система математических положений, выведенных из небольшого числа принципов, имеющих целью выразить возможно проще, полнее и точнее цельную систему экспериментально установленных законов»¹⁷⁰.

¹⁶⁸ Дюгем П. Физическая теория. Ее цель и строение. СПб.: Образование, 1910.

¹⁶⁹ Там же. С. 9.

¹⁷⁰ Там же. С. 25.

Таким образом, в начале XX века доминировала позитивистская установка – принцип экономии мышления Маха, и такая функция научной теории, как объяснение отвергалась. Тем не менее, спустя пятьдесят лет «Куайн предложил аргументы, согласно которым невозможно провести различие между наукой и философией, а трудности, с которыми столкнулась антиметафизическая позиция позитивистски ориентированных философов, привели к возврату метафизических соблазнов, и было отмечено, что научная деятельность включает в себя объяснение, а аргумент Дюгема оказался тихо забыт»¹⁷¹.

3.4.2. Модель интертеоретической редукции Нагеля

Мы рассмотрим одну из основных моделей интертеоретической редукции: модель Нагеля¹⁷². Эта модель связана с позитивистским представлением о том, что редукция научной теории возможна, только если теория сформулирована на языке первого порядка. Согласно этому представлению теория должна содержать два словаря, один из которых включает теоретические термины, описывающие множество теоретических законов, а также термины наблюдения. Если научные теории могут быть формализованы, то модель редукции Нагеля позволяет описать условия их сводимости. Пусть $T1$ и $T2$ – формализованные теории. Тогда $T2$ сводится к $T1$ тогда и только тогда, когда выполняется *условие совместимости*: 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 (закон соответствия – *bridge law*).

Этот закон устанавливает связь между двумя различными лингвистическими выражениями в двух различных теориях. Чтобы применять схему редукции Нагеля, требуется, во-первых, логически связать термины соответствующих теорий, выстраивая законы соответствия; во-вторых, нужно различать законы теории, которая сводится, от законов теории, к которой сводятся.

¹⁷¹ Fraassen van B. The Scientific Image. Oxford: Oxford Univ. Press, 1980. P. 154-155.

¹⁷² По книге: Klee R. Introduction to the Philosophy of Science: Cutting Nature at Its Seams, Oxford: Oxford Univ. Press, 1997. Ch. 5.

3.4.3. Дедуктивно-номологическая модель Гемпеля

В 1948 г. логический позитивист Карл Гемпель предложил первую модель объяснения. Если Дюгем считал, что ответ на вопрос «почему?» предполагает выход за пределы описания явлений, а установление причин означает введение метафизических предположений, то для Гемпеля ответ на вопрос «почему?» не приводил к постулированию реальности, стоящей за явлениями. Для него этот вопрос выражал необходимость поиска предсказаний для нашего будущего опыта, а значение научной теории должно было зависеть от возможности давать подобные предсказания.

Согласно Гемпелю объяснение разделяется на две части – экспланандум и эксплананс. Под экспланандумом понимаются предложения, описывающие объясняемые явления, а эксплананс – это класс тех предложений, которые приводятся, чтобы объяснить явления. Эксплананс, в свою очередь, распадается на два подкласса. Один из них состоит из некоторых предложений $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$, задающих особые начальные условия; другой подкласс составляют общие законы $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$, из которых логически дедуцируются следствия.

$$\begin{array}{c} C_1, C_2, C_3, \dots, C_n \\ L_1, L_2, L_3, \dots, L_n \\ \hline E \end{array}$$

Экспланандум E представляет собой описание объясняемого эмпирического феномена. Далее, Гемпель формулирует логические и эмпирические условия адекватности. Перечислим вначале логические условия:

«1) Экспланандум должен быть логическим следствием эксплананса; другими словами, экспланандум должен быть логически выводим из информации, содержащейся в экспланансе, иначе эксплананс не будет представлять собой адекватное основание для экспланандума.

2) Эксплананс должен содержать общие законы, которые должны быть действительно необходимы для выведения экспланандума. Однако мы не будем считать необходимым условием корректного объяснения то, что эксплананс должен включать в себя хотя бы одно утверждение, не являющееся законом; ибо,

отметим лишь одну причину этого, мы будем явно стремиться рассматривать как объяснение, например, выведение общих закономерностей, управляющих движением двойных звезд, из законов небесной механики, даже несмотря на то, что все утверждения, входящие в эксплананс, являются общими законами.

3) Эксплананс должен иметь эмпирическое содержание, т. е. он должен быть принципиально проверяем экспериментом или наблюдением. Это условие имплицитно содержится в 1), поскольку предполагается, что, если экспланандум описывает некоторое эмпирическое явление, то из 1) следует, что эксплананс имеет, по крайней мере, одно следствие эмпирического характера, и это заключение основывается на его [эксплананса] эмпирическом содержании и принципиальной проверяемости. Этот вопрос заслуживает особого упоминания, поскольку, как мы увидим ниже, определенные рассуждения, которые были представлены как объяснения в естественных и социальных науках, нарушают это требование»¹⁷³.

Четвертое необходимое условие адекватности – эмпирическое:

«4) Предложения, составляющие эксплананс, должны быть истинными. То есть при объяснении утверждения, составляющие эксплананс, должны удовлетворять некоторым очевидным действительным условиям корректности. Кажется, это больше соответствует условию, что эксплананс должен быть хорошо подкреплён всеми имеющимися свидетельствами, чем условию, что он должен быть истинным. Однако это условие ведет к проблематичным следствиям. Предположим, что некоторые явления были объяснены на ранней стадии науки при помощи хорошо подкреплённых в то время экспланансов, которые не подтвердились более поздними эмпирическими открытиями. В этом случае мы должны будем сказать, что начальное объяснение было корректным, но перестало быть таковым позже, когда были получены неблагоприятные свидетельства»¹⁷⁴.

¹⁷³ Гемпель К. Г. Логика объяснения. М.: ДИК, 1998. С. 92.

¹⁷⁴ Hempel C. G., Oppenheim P. The Deductive-Nomological Model of Scientific Explanation // Scientific Inquiry. Reading in the Philosophy of Science. Oxford: Oxford Univ. Press, 1999. P. 165.

Изложенное выше затруднение ведет к тому, что, основываясь на ограниченном круге свидетельств, мы не можем утверждать истинность эксплананса. Следовательно, нужно утверждать не истинность эксплананса, а его высокую вероятность, но тогда мы не сможем обосновать корректность объяснения.

Поэтому объяснение будет иметь ценность, только если оно основывается на общих законах. Такой тип объяснения часто называют *причинным объяснением*. «Утверждения, такие как L1, L2, L3, ..., Ln, в которых устанавливается наличие общих и не допускающих исключения связей между определенными характеристиками событий, обычно называются причинными, или детерминистическими, законами. Они должны отличаться от так называемых статистических законов, в которых утверждается следующее: в течение долгого времени явно установлено, что все сто процентов случаев, удовлетворяющих данному множеству условий, соответствуют событию некоторого определенного типа»¹⁷⁵.

Объяснить явление – значит вскрыть его механизм, показать, что оно подчиняется определенному закону. Однако проблематично задать четкий критерий, который позволит определять, что такое закон. Сделаем небольшое отступление, посвященное проблеме понятия закона.

Проблема понятия общего закона

По мнению Гемпеля, законом должно быть только истинное утверждение. Но научные законы устанавливаются индуктивно и истинность их не может быть установлена достоверно. Например, формула Бодэ не является законом, так как она не является универсальной истиной. Однако, Гемпель пишет, что «мы не можем сказать, что общая формула Бодэ для расстояний от планет до Солнца была законом относительно астрономических событий, известных в 1770-х гг., когда Бодэ предложил ее, и что она прекратила быть законом после открытия Нептуна и определения его расстояния до Солнца; скорее, мы должны сказать, что некоторое число событий придавало высокую вероятность предположению, что эта формула была законом, в то время как более поздняя добавочная информация уменьшала ее вероятность настолько, чтобы быть практически уверенным, что фор-

¹⁷⁵ Ibid. P. 167.

мула Бодде не является общим законом и, следовательно, она не закон»¹⁷⁶. Однако определение объяснения сконструировано таким образом, чтобы включать действительно общие законы.

Трудность отличить законы от случайно истинных утверждений, известная как проблема законоподобных утверждений, впервые была поставлена Нельсоном Гудменом¹⁷⁷. Рассмотрим некоторые характеристики законоподобных утверждений. Прежде всего, законоподобное утверждение должно иметь универсальную форму. Например, «все металлы проводят электрический ток». Однако, многие законы природы имеют условную форму: «При повышении температуры и постоянном давлении любой газ расширяется». Условная форма может быть преобразована в безусловную форму, имеющую универсальный характер, что является необходимым свойством законоподобных утверждений.

Универсальность формы и истинность являются необходимыми, но не достаточными условиями для характеристики законоподобных утверждений, так как универсальную форму могут иметь некоторые случайно истинные предложения. Например, «Все яблоки в этой корзине красные». Что отличает их от законоподобных утверждений? Случайно истинные утверждения выдвигают утверждения только относительно конечного множества объектов, что несовместимо с требованием универсальности, которому должен удовлетворять закон. Однако некоторые научные законы также касаются только конечного класса объектов. Например, закон Кеплера применим только к конечному множеству планет.

Если иметь в виду закон Кеплера, то следующее требование кажется обоснованным: «Фундаментальные законоподобные предложения должны быть универсальными и не должны содержать несущественные, т. е. неэлиминируемые, случаи обозначений конкретных объектов»¹⁷⁸. Однако для этого требова-

¹⁷⁶ Hempel C. G., Oppenheim P. The Deductive-Nomological Model of Scientific Explanation... P. 173.

¹⁷⁷ Goodman N. The Problem of Counterfactual Conditionals // The Journal of Philosophy. 1947. V. 44. P. 113-128.

¹⁷⁸ Hempel C. G., Oppenheim P. The Deductive-Nomological Model of Scientific Explanation... P. 175.

ния можно привести контрпример, а именно условные утверждения. Рассмотрим, для иллюстрации, следующее: «Любая вещь, которая является либо яблоком в корзине К в момент времени t , либо оксидом железа, – красная». Чтобы избавиться от ссылок на конкретные объекты, можно обозначить выражение «являться либо яблоком в корзине К в момент времени t , либо оксидом железа» термином «являться железнояблочным». Тогда утверждение «Любая вещь, которая является железнояблочной, – красная» имеет универсальную форму, не ссылается на конкретные объекты и удовлетворяет условию неограниченной области применения.

Предложение в последнем примере является законом не в большей степени, чем предыдущее. Термин «железнояблочный» представляет собой простое обозначение конкретных терминов, а фундаментальный закон не должен содержать ссылки на конкретные объекты. Тогда предикаты, допустимые в фундаментальных законоподобных утверждениях, должны быть «только универсальными, или, скажем, только качественными по характеру; другими словами, если утверждение, обозначающее их, не требует ссылок на какой-нибудь конкретный объект или пространственно-временные характеристики»¹⁷⁹.

Однако дать определение качественному предикату, значение которого должно устанавливаться без ссылок на конкретные объекты, весьма проблематично, и Гемпель оставляет этот вопрос открытым.

В адрес схемы Гемпеля был высказан ряд критических замечаний, касавшихся иррелевантности законов. Приведем один из стандартных примеров иррелевантности.

Все металлы проводят ток.

На любой проводник тока действует гравитация.

На все металлы действует гравитационное притяжение.

Понятно, что данный вывод не является объяснением, хотя формально эксплананс включает общие утверждения: на метал-

¹⁷⁹ *Hempel C. G., Oppenheim P. The Deductive-Nomological Model of Scientific Explanation... P. 176.*

лы гравитация действует не потому, что они проводят ток; на изоляторы гравитация действует в той же самой степени.

Аналогичный пример иррелевантности можно привести и для единичного факта.

Натрий соединяется с бромом в соотношении один к одному.

Любое вещество, которое соединяется с бромом в соотношении один к одному, соединяется с хлором в соотношении один к одному

Натрий соединяется с хлором в соотношении один к одному.

Данный вывод также не является объяснением, так как не вскрывает механизм этого процесса.

Симметричность объяснения и предсказания

Три необходимые логические условия объяснения подходят для вывода как объяснения, так и предсказания. Соответственно, и модель Гемпеля приложима как для вывода объяснения, так и для вывода предсказания. Утверждение о равноценности объяснения и предсказания называется *тезисом структурной идентичности*.

Тезис структурной идентичности содержит два подтезиса:

«1) каждое адекватное объяснение является потенциальным предсказанием в указанном смысле;

2) обратно, каждое адекватное предсказание является потенциальным объяснением»¹⁸⁰.

Первый подтезис представляет собой тривиальное следствие дедуктивно-номологической модели объяснения, так как эксплананс является логическим следствием экспланандума. Однако данный подтезис предполагает существование и более общих условий, которые обеспечивают адекватность любого рационально приемлемого объяснения частных событий. Это предположение не выполняется, и в качестве контрпримера можно указать нарративное объяснение, например историю происхождения видов. Первый подтезис может «служить необходимым условием адекватности любого явно установленного, рационального объяснения»¹⁸¹.

¹⁸⁰ Hempel C. G. The Thesis of Structural Identity // Philosophy of Science / Ed. by M. Curd and J. A. Cover. NY. W. W. Norton and Co, 1998. P. 696.

¹⁸¹ Ibid. P. 702.

Именно возможность вывода как объяснения, так и предсказания послужила основанием для утверждения об их равноценности. Однако для ученых объяснение и предсказание далеко не равноценны; предсказание новых фактов свидетельствует об истинности теории, тогда как объяснение таким свойством не обладает. Этот вопрос подробно обсуждался Грюнбаумом¹⁸². Он показал, что предсказание требует гораздо большей информации: для предсказания нужно знать все существенные причины, а для объяснения явления достаточно указать только одну.

Кроме того, не все объяснения могут иметь предсказательный характер. Например, мы можем объяснить случайное событие – машины столкнулись, потому что ехали быстро, – но не можем его предсказать.

Наконец, предсказание не всегда является объяснением. Например, некоторая болезнь в начале вызывает определенный синдром, скажем, сыпь особого вида. Тогда, если у человека имеется данный синдром, можно предсказать, что он заболит, но это предсказание не является объяснением, так как в данном случае нет универсальных законов. «Второй подтезис в общем виде, который не ограничивается для дедуктивно-номологические предсказаний, в дальнейшем не рассматривается ... [так как] существуют другие виды предсказательных аргументов, которые адекватны для научного предсказания, но не для объяснения»¹⁸³.

Симметричность схемы Гемпеля является источником не только рассмотренных проблем. Рассмотрим некоторые контрпримеры для тезиса структурной идентичности. Один из стандартных контрпримеров касается возможности сделать правильное предсказание, если дано неверное объяснение. Допустим, Джон выпил мышьяк. Мы можем предсказать его смерть. Но он может меньше чем через сутки попасть под автобус, и в этом случае прием мышьяка не является объяснением его смерти. Следовательно, приведенный контрпример также утверждает асимметричность объяснения и предсказания. Никто «не может сказать, что имеется объяснение смерти Джона, но любой, несомненно, может сделать успешное предска-

¹⁸² Грюнбаум А. *Философские проблемы пространства и времени*. М.: Прогресс, 1969.

¹⁸³ Hempel C. G. *The Thesis of Structural Identity*. P. 702.

ние. Он предскажет, что Джон будет мертв, и предсказание будет корректным»¹⁸⁴.

Итак, дедуктивно-номологическая модель объяснения рассматривает объяснение как подведение под общий закон. Основной проблемой, представляющей препятствие к использованию этой модели, является проблема законоподобных утверждений, т. е. трудность отличить закон от случайно истинного высказывания. С точки зрения данной модели объяснение является симметричным предсказанию (тезис структурной идентичности). Симметричность объяснения и предсказания, следующая из дедуктивно-номологической модели Гемпеля, также широко критиковалась.

3.4.4. Индуктивно-статистическая модель Гемпеля

На основе дедуктивно-номологической модели Гемпель разработал модель вероятностного объяснения. В дедуктивно-номологической модели объяснения важную роль играют законы, имеющие строго универсальную форму. Но некоторые из общих законов и теоретических принципов имеют вероятностно-статистическую форму. «Они являются, вообще говоря, суждениями об эффектах, такими, что если некоторые специальные условия имеют место, то события такого-то и такого-то вида будут происходить с такой-то и такой-то статистической вероятностью»¹⁸⁵.

Подобный эксплананс делает экспланандум не несомненным, а более или менее вероятным. Общая схема вероятностно-статистической модели может быть представлена следующим образом:

$$\begin{array}{l} F_i \\ \underline{P(O/F)} \text{ является очень вероятным,} \\ O_i \end{array} \quad (\text{ISM})$$

Где F_i утверждает, что в случае i фактор F (который может быть более или менее сложным) будет реализован. А $P(O/F)$ обозначает вероятностный закон для эффекта, который случит-

¹⁸⁴ *Ruben D. H. Arguments, Laws, and Explanation // Philosophy of Science Science / Ed. by M. Curd and J. A. Cover. NY. W. W. Norton and Co, 1998. P. 724.*

¹⁸⁵ *Hempel C. G. Two Basic Types of Scientific Explanation // Philosophy of Science Science / Ed. by M. Curd and J. A. Cover. NY. W. W. Norton and Co, 1998. P. 688.*

ся с очень высокой (близкой к 1) вероятностью для исхода O в случае, когда имеет место F .

Такой эксплананс не заключает в себе экспланандум логически, а только сообщает ему высокую вероятность (likelihood). Это понятие вводится, чтобы ясно отличать вероятность (likelihood) исхода O от статистической вероятности (probability) посылки, обозначенной на схеме P . «Статистическая вероятность (statistical probability) есть, грубо говоря, долговременное отношение частотности, с которой событие данного вида (скажем, F) сопровождается «результатом» специального вида (скажем, O). Наша вероятность (likelihood), с другой стороны, является отношением (допускающим градуацию) не между видами событий, а между утверждениями. Вероятность (likelihood), которая имеется в виду в схеме, может быть охарактеризована как сила индуктивной поддержки или степень рациональной веры, которую эксплананс сообщает экспланандуму; или, в терминах Карнапа, как логическая, или индуктивная (в противоположность статистической), вероятность, которую экспланандум получает от эксплананса»¹⁸⁶.

Укажем основные отличия вероятностного объяснения от дедуктивно-номологического. Если в ДНМ модели объяснение происходило на основе некоторых (необходимых) законов, то в индуктивно-статистической модели объяснение производится на основании некоторых фактов. При этом эксплананс может сообщать более или менее высокую степень индуктивного подкрепления экспланандуму соответственно, вероятностное объяснение допускает различные степени правдоподобия. Дедуктивно-номологическое объяснение, напротив, имеет дело с множеством универсальных законов и частных условий, которые содержат (или не содержат) утверждение экспланандума.

Индуктивно-статистическое объяснение играет значительную роль в современной науке, поскольку все научные законы выводятся на основе конечного числа частных случаев и не могут быть полностью верифицированы. Частные случаи могут только сообщить высокую вероятность закону, но не могут обеспечить его необходимость; следовательно, все научные за-

¹⁸⁶ Hempel C. G. Two Basic Types of Scientific Explanation. P. 689.

коны должны быть вероятностными. В индуктивно-статической модели объясняемое событие имеет высокую индуктивную вероятность.

Критика индуктивно статистической модели

Сам Гемпель, исследуя природу статистического объяснения, обнаружил фундаментальную проблему, касающуюся статистического объяснения частных фактов. Рассмотрим знаменитый пример Гемпеля, показывающий, что сходные аргументы могут привести к противоположным выводам.

(1) Почти все случаи стрептококковой инфекции быстро вылечиваются пенициллином.

Джон имеет стрептококковую инфекцию.

Джон принимает пенициллин.

Джон быстро вылечится.

В этом примере в состав эксплананса входят три посылки. Первая выражает статистическую регулярность, а две другие задают начальные условия. В заключении (экспланандуме) утверждается объясняемый факт. Аналогичную схему можно построить для случая, когда многострадальный Джон заражен устойчивым к действию антибиотиков штаммом бактерий.

(2) Почти нет случаев стрептококковой инфекции, устойчивой к антибиотикам, а остальные быстро вылечиваются пенициллином.

Джон имеет стрептококковую инфекцию, устойчивую к антибиотикам.

Джон принимает пенициллин.

Джон быстро не вылечится.

В случаях (1) и (2) в экспланансе используются сходные посылки, которые приводят к противоположным выводам. Данная проблема получила название проблемы *двусмысленности (ambiguity) индуктивно-статистического объяснения*. Источником этой проблемы является фундаментальная разница между универсальным и статистическим законом. «Двусмысленность ста-

тистической систематизации может быть охарактеризована следующим образом: если данный объект или множество объектов имеют свойство A , которое с высокой статической вероятностью связано с другим свойством C , то тот же самый объект или множество объектов будут, вообще говоря, также иметь свойство B , которое с высокой статистической вероятностью связано с не- C »¹⁸⁷. Иначе говоря, если случится A , связанное высокой вероятностью с C , то кроме вывода, что наверняка произойдет и C , существует альтернативный аргумент, основанный на столь же истинных посылках и ведущий к предсказанию, что в том же самом случае C не произойдет. В частности, из утверждения, что все A есть B , непосредственно следует, что все A , обладающие свойством C , есть B . Однако если почти все ныне живущие люди будут жить и через пять лет, то из этого не следует, что очень старые или больные неоперабельным раком люди будут живы через пять лет.

Отсюда, в частности, следует, что добавление дополнительной посылки может полностью разрушить объяснение. Например, европейцы в течение веков имели подтверждения индуктивного закона: «Все лебеди белые». Добавление дополнительной посылки «В Австралии были открыты черные лебеди» делает этот закон, а значит, и объяснение на его основе несостоятельным. Приведенный пример демонстрирует разницу между универсальными и статическими законами.

Чтобы избежать проблемы двусмысленности, было выдвинуто *требование полноты свидетельств* (total evidence). Согласно этому требованию, не следует полагаться на результат индуктивного заключения, если аргумент не включает все имеющиеся в наличии уместные свидетельства. Но это требование оказалось совершенно неприменимым для научной практики. Поскольку объясняемый факт уже известен, согласно требованию полноты свидетельств его формулировку можно было включить в множество посылок, что, конечно же, не приводило ни к каким интересным следствиям.

¹⁸⁷ *Hempel C. Deductive-Nomological vs. Statistical Explanation // Minnesota Studies in the Philosophy of Science: Scientific Explanation, Space and Time. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, 1962. V. 3. P. 133.*

Вместо этого требования Гемпель выдвигает *требование максимальной специфичности*¹⁸⁸. Цель этого требования – включить в эксплананс индуктивно-статического объяснения всю релевантную информацию, доступную до того, как случится событие. В некоторых случаях данное требование может оказаться избыточным (например, в случае с болезнью Джона, вызванной обычной инфекцией, не имеет смысла указывать дату начала приема антибиотиков).

Более существенная неприятность заключается в том, что добавление новой информации может изменить вероятность объясняемого события. Вернемся к примеру с Джоном. Допустим, объясняется факт, что Джон быстро выздоровел. Ко множеству посылок добавляется знание о том, что стрептококки были устойчивыми к действию антибиотиков. Однако известно, что вероятность быстрого выздоровления в случаях болезни, вызванной устойчивыми к антибиотикам и обычными штаммами, не совпадает. Но тогда, согласно теории вероятности, объяснение не будет легитимным. Поясним это. Пусть X – класс всех больных стрептококковой инфекцией, а Y – класс быстро выздоровевших людей. Здесь Y подмножество X , поэтому вероятность событий из Y определяется вероятностью событий из X и должна быть ей равна, что не имеет места в рассмотренном выше примере.

Еще одна проблема возникает потому, что требование максимальной специфичности явно апеллирует к состоянию нашего знания. Поэтому и аргумент, полученный в результате индуктивно-статистического объяснения, будет зависеть не только от объективных фактов, но и от знаний объясняющего субъекта. Далее, чтобы избежать субъективности, Гемпель сформулировал *принцип существенной эпистемической относительности индуктивно-статического объяснения*. Этот принцип узаконил относительность знания, полученного в результате индуктивно-статистического объяснения.

Действительно, правильно построенное дедуктивно-номологическое объяснение будет корректным и не зависящим от состояния нашего знания. Однако правильно построенное ин-

¹⁸⁸ *Hempel C. Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. N. Y.: Free Press, 1965.

дуктивно-статистическое объяснение не гарантирует корректного результата. Результат может быть приемлемым в одной познавательной ситуации, но неприемлемым в другой.

Модели Гемпеля, в принципе, применимы для объяснения как единичных событий, так и общих регулярностей. При объяснении общих регулярностей эксплананс содержит только универсальные законы. Однако требование максимальной специфичности и принцип существенной эпистемической относительности индуктивно-статического объяснения становятся источниками трудностей при объяснении частных фактов.

Следовательно, Гемпель отклоняет этот аргумент, указывая, что в нем смешаны логические и эпистемологические аспекты: «он недостаточен, чтобы провести различие между утверждением, выведенным из закона, и степенью подтверждения или вероятностью, которую утверждение получает от имеющихся в наличии событий. Почти верно, что утверждение, выражающее закон другого вида, может быть подтверждено любым конечным (хотя и большим) множеством данных о конкретных фактах только неполностью; но две различные формулировки законов дедуцируют утверждения различных видов, что отражается в их логической форме: грубо говоря, формулировка универсального закона простейшего вида утверждает, что все элементы неопределенно большого класса (например, медные объекты) имеют некоторую характеристику (например, быть хорошим проводником тока); тогда как в формулировке статистического закона утверждается, что в течение долгого времени специфическое отношение членов указанного класса имеет некоторые специальные свойства»¹⁸⁹.

Итак, индуктивно-статистическое объяснение основано на статистическом законе, поэтому эксплананс не достоверен, а имеет только некоторую степень вероятности. Соответственно и экспланандум является не достоверным, а только более или менее вероятным. Основной проблемой индуктивно-статистической модели объяснения является невозможность объяснения единичных случаев, имеющих низкую вероятность. Добавление дополнительных условий может изменить вероятность экспланандума и даже привести к противоположным выводам (проблема двузначности объяснения).

¹⁸⁹ Hempel C. Aspects of Scientific Explanation... P. 690.

3.4.5. Прагматическая модель объяснения ван Фраассена

Прагматическая модель объяснения была предложена ван Фраассеном в работе «Научный образ», вышедшей в 1980-м г.¹⁹⁰. С его точки зрения, объяснение не является аргументом, пропозицией или списком пропозиций. Объяснение – это ответ на вопрос «почему?». Следовательно, теория объяснения должна быть теорией почему-вопросов. Развитие этой теории основано на формальной прагматике и логике вопросов. Укажем некоторые базовые аспекты этих двух областей логических исследований.

Некоторые аспекты формальной прагматики

В курсе элементарной логики вводится элементарная модель языка – модель языка первого порядка, в которой рассматриваются пропозиции со связанными переменными. Однако эта простейшая модель неадекватна и не может быть применена к естественному языку. В элементарной логике каждое предложение связано в точности только с одной пропозицией, а истинностное значение этого предложения зависит от соответствия положению дел в реальном мире.

Однако предложения естественного языка являются существенно контекстно-зависимыми, иначе говоря, то, какая пропозиция должна быть использована для выражения данного предложения, существенно зависит от контекста. Рассмотрим пример Струосона: «Теперь я счастлив». Это предложение истинно в контексте x тогда и только тогда, когда говорящий в контексте x счастлив в данный момент времени в контексте x . *Контекст* – это реальная ситуация, происходящая в определенное время и в определенном месте и позволяющая идентифицировать говорящего (референт «я»), слушателя (референты «ты» или «вы»), обсуждаемую персону (референт «он», «она») и т. д. Подобное определение контекста зависит от степени идеализации, которая может быть более или менее сильной в зависимости от решаемой задачи, так как уточнение контекста приводит к усложнению конструируемых моделей.

Способы задания контекста зависят от анализируемого предложения. Рассмотрим, например, предложение: «Сорок лет на-

¹⁹⁰. Van Fraassen B. The Scientific Image. Oxford: Oxford Univ. Press, 1980.

зад было возможно предотвратить демографический взрыв в этой стране, но теперь слишком поздно». Для данного предложения существует множество возможных слов и множество контекстов или частей мира, которые определяют его смысл. В каждом таком мире существует множество сущностей, связанных конкретными отношениями, определено время, когда происходят события. Чтобы оценить истинность предложения, нужно соотнести контекст и мир. Значение таких терминов, как «эта страна» и «теперь» различается в различных контекстах, и говорящий может иметь в виду один из нескольких возможных смыслов.

Можно дать простейшую общую форму для интерпретаций предложений. Во-первых, определяются некоторые сущности (теоретические конструкции), называемые пропозициями, каждая из которых имеет истинное значение в любом из возможных миров. Когда мы задаем контекст, это означает, что для произвольного предложения решается задача выбора пропозиции, которая его выражает в данном конкретном контексте. Для приведенного выше предложения «Сорок лет назад было возможно предотвратить демографический взрыв в этой стране, но теперь слишком поздно» можно задать контекст x , в котором оно будет выражаться пропозицией «В 1958-м г. было возможно предотвратить демографический взрыв в Индии».

Тогда, в свете вышеизложенного предложение «Я сейчас здесь» выражается пропозицией «А. Сторожук в Новосибирске в ноябре 2004-го г.». Между предложением и пропозицией существует важное отличие: предложение «Я здесь» является истинным независимо от обстоятельств, оно истинно *a priori*. Но пропозиция, выражающая, что А. Сторожук в Новосибирске, является случайной истиной: я могу не быть здесь. Таким образом, существует разница между априорной достоверностью и необходимостью.

Поскольку пропозиции играют важную роль в языке, постольку семейства пропозиций имеют сложную структуру. Пропозиции могут быть однозначно установлены посредством мира, в котором они истинны. Это упрощение позволяет рассматривать пропозиции совместно с множеством возможных миров, в которых они истинны.

Контекст задает выбор пропозиции, выражаемой данным предложением, через выбор референтов для терминов, областей определения для предикатов, функций для функторов (например, символы подобные «и», «или», «больше»). В процессе выбора могут возникать неустоявшиеся контекстуальные переменные, но, несмотря на это, предположения, в которые они входят, считаются доказанными, а теории принимаются. Например, если действительный мир является только одним из возможных миров, то истинные значения модальных предложений, принимаемых в определенном мире, будут существенно отличаться от значений, истинных относительно прагматических предположений. Однако прагматические предположения играют важную роль для нашего понимания того, что следует сказать или на что нужно возразить в данном контексте.

Общая логика вопросов

Теория вопросов основана на теории пропозиций. «Вопрос является абстрактной сущностью; он выражается интеррогативным предложением (часть языка) в том же самом смысле, в котором пропозиции выражаются декларативным предложением»¹⁹¹. Интеррогативная часть языка включает вопросительные местоимения, входящие в состав вопросов. Предполагается, в принципе, что каждый вопрос должен иметь ответную реакцию (response), которая может в большей или меньшей степени являться ответом (answer). Первая задача теории вопросов – дать типологию ответов. Рассмотрим, к примеру, вопрос и серию ответных реакций на него: «Является ли БАМ самой длинной железной дорогой?».

- 1) Да.
- 2) БАМ является самой длинной железной дорогой.
- 3) БАМ является железной дорогой.
- 4) БАМ является самой длинной железной дорогой, но по части этой дороги сейчас никто не ездит.

Случай 2) представляет собой пример точного ответа: он предоставляет полную информацию для ответа на вопрос и не содержит избыточных данных. Данный ответ называется *прямой ответ*. Слово «да» в случае 1) является кодом этого ответа.

¹⁹¹ Van Fraassen B. The Scientific Image. Oxford: Oxford Univ. Press, 1980. P. 137-138.

Ответные реакции 3) и 4) отличаются от прямого ответа: 3) дает не полную информацию, а 4) говорит больше, чем нужно. Любая пропозиция, содержащаяся в прямом ответе, называется *частичным ответом*, а та, которая содержит прямой, ответ называется *полным ответом*.

Не следует считать, что прямой ответ является комбинацией частичных ответов, в таком случае мы должны признать, что любая пропозиция является ответом на какой-нибудь вопрос. Но это не так, потому что существуют реплики, выражающие ответные реакции, которые не могут классифицироваться как ответ, например восклицание «Ого!». Конечно, приводимая здесь типология не является исчерпывающей, а термин «ответ» – строго определенным.

В простейшей гипотезе утверждается, что любой вопрос можно однозначно установить по прямому ответу на него. Однако при определении того, на какой в точности вопрос является ответом данная пропозиция, возникают некоторые трудности, связанные с тем, что вопрос выражается посредством интеррогативной части языка. Точно так же вопрос не может быть восстановлен по дизъюнкции прямых ответов.

Представление о «прямом ответе» может быть использовано для определения некоторых базовых понятий, касающихся типологии вопросов. Вопрос Q содержит другой вопрос Q' , если Q' имеет ответ тогда, когда имеет ответ Q , т. е. если каждый полный ответ на Q является также полным ответом на Q' . Вопрос является *пустым*, если все его прямые ответы – необходимо истинные, и *противоречивым*, если ни один из его прямых ответов не может быть истинным ни в одном возможном мире. Особый случай представляет собой *бессмысленный* вопрос, который не имеет прямого ответа. Рассмотрим некоторые примеры.

- 1) Вы сегодня оденете черную шляпу или белую?
- 2) Вы сегодня оденете шляпу, которая является черной и не черной, или шляпу, которая является белой и не белой?
- 3) Укажите три различные простые числа среди следующих чисел: 3, 5.

Ясно, что третий вопрос является бессмысленным, а второй – глупым. Если мы, соответственно, назовем необходимо ложные ут-

верждения противоречивыми, то получим теорему: На противоречивый вопрос дается противоречивый ответ. Заметим, что противоречивый вопрос содержит все вопросы, а пустой вопрос содержится во всех.

Пример 1) позволяет рассматривать прямой ответ как исходное предположение вопроса. Ясно, что оба прямых ответа на первый вопрос («Я одену черную шляпу» и «Я одену белую шляпу») могут быть ложными. В этом случае спрашиваемый может ответить «ни ту, ни другую», а данный ответ не включен в приведенную выше типологию ответов. Чтобы избежать подобных проблем Н. Белнап ввел ряд понятий.

Исходное предположение вопроса (presupposition) Q – это любая пропозиция, которая содержит в себе все прямые ответы на Q .

Корректировка Q (или корректирующий ответ на Q) – любое отрицание любого исходного предположения Q .

Базовое исходное предположение вопроса Q – это пропозиция, которая истинна тогда и только тогда, когда некоторый прямой ответ на Q является истинным.

Введенные уточнения позволяют сопоставлять каждой пропозиции множество миров, в которых она истинна. В примере 1) исходное предположение вопроса является пропозицией, предполагающей, что вы оденете либо черную, либо белую шляпу. В тех случаях, когда множество прямых ответов конечно, исходное предположение вопроса является дизъюнкцией этих ответов.

Вернемся к типологии ответов и попробуем классифицировать следующую ответную реакцию на первый вопрос: «Я не одену белую шляпу». Согласно данному выше определению, эта ответная реакция не является даже частичным ответом на первый вопрос, так как ни один прямой ответ ее не предполагает. Но если спрашивающий предполагает, что вы оденете по крайней мере одну из двух шляп, то эта ответная реакция будет для него полным ответом. То есть эта ответная реакция вместе с исходным предположением вопроса приводит к прямому ответу, что вы оденете черную шляпу. Следовательно, необходимо добавить определение:

относительно полным ответом на вопрос Q является любая пропозиция, которая вместе с исходным предположением вопроса Q заключает в себе некоторый прямой ответ на Q .

Это определение можно обобщить: полным ответом на вопрос Q относительно теории T является пропозиция, которая вместе с T включает в себе некоторый прямой ответ на Q . Введенную типологию ответов следует рассматривать как незавершенную, ее необходимо расширять при изучении специфических видов вопросов.

Заметим, что вопросы являются контекстно-зависимыми постольку, поскольку они содержат индексированные интеррогативные термины. Если задан вопрос «Какое из них Вы хотите?», то контекст определяет множество объектов, из которых Вы выбираете, например, это может быть множество яблок в корзине. Главная задача контекста – очертить множество прямых ответов. Оно задается двумя факторами – множеством альтернатив (называемых *субъектом* вопроса) и требованием выбора из этих альтернатив. Указанные два фактора не могут однозначно определить рамки, в которых должен быть сформулирован ответ, но контекст позволяет точно придать интерпретацию словам, использовавшимся в формулировке вопроса.

Теория вопросов «почему?»

Теория вопросов «почему?» является частью общей теории вопросов, но требует введения новых понятий. Ответ на вопрос «почему?» предполагает указание причины. Например, рассмотрим вопрос «Почему провод нагревается?» Вопрос предполагает, что провод нагревается, а ответ должен указать причину этого явления. Пропозиция «провод нагревается» называется *тема* (topic) вопроса. (Гемпель и большинство других философов используют термин «экспланандум»). Вопрос имеет множество альтернативных ответов – *класс альтернатив* (contrast-class). Этот класс альтернативных пропозиций должен быть включен в тему. Для данного конкретного вопроса альтернативным может быть выбор именно этого провода, а не какого-нибудь другого, или утверждения, что провод нагретый, а не холодный. Для вопроса «Почему этот материал горит желтым пламенем?» класс альтернатив должен включать множество пропозиций «Этот материал горит цветом x ».

Наконец, поскольку вопрос «почему?» требует указания причины, следует ввести понятие *объяснительной релевантности*. Так в примере с проводником в качестве причин могут быть указаны разные воздействия, приводящие к повышению температуры: действие тока или нагрев проводника от источника тепла. Если причин

явления может быть несколько, то встает вопрос выбора более релевантного объяснения из класса альтернатив.

Некоторые вопросы относительно общей темы могут иметь различные классы альтернатив, и наоборот. В таких случаях оценка объяснительной релевантности может не совпадать для разных альтернатив. Поэтому для оценки релевантности нужно учитывать и тему, и класс возможных альтернатив. Например, если задан вопрос «Почему Адам съел яблоко?», то в одном контексте более релевантен ответ, поясняющий, почему он предпочел яблоко персику, а в другом – почему он не отказался от яблока. Эти ответы принадлежат к разным классам альтернатив, хотя относятся к одной и той же теме.

Дадим теперь более формальное определение вопроса «почему?». Вопрос «почему?», поставленный в некотором контексте, определяется тремя факторами:

Темой T (в оригинале topic);

Классом альтернатив $A = \{A_1, \dots, A_k, \dots\}$;

Отношением релевантности R .

Следовательно, абстрактный вопрос «почему?» будет обозначаться тройкой:

$$Q = \langle T, A, R \rangle.$$

Пропозиция P называется релевантной вопросу Q тогда, когда P находится в отношении R к паре $\langle T, A \rangle$. Теперь следует определить, что является прямым ответом на вопрос «почему?». Прямой ответ выражается пропозицией:

A_k потому что P , где A_k – альтернатива из класса A . (*)

Содержание этой пропозиции зависит от того же самого контекста, который определяется вопросом «почему A_k ?» Рассмотрим, что утверждается в ответе (*). В нем полагается, что:

- 1) A_k является истинной альтернативной пропозицией;
- 2) все другие ответы из класса альтернатив A не являются истинными;
- 3) что P является истинным;
- 4) утверждается, что P является причиной.

В данном случае требуется, чтобы P была не просто причиной, но причиной подходящей.

В примере с окрашиванием пламени газовой горелки класс альтернатив может быть следующим:

A_1 = пламя окрашено в оранжевый цвет;

A_2 = пламя окрашено в зеленый цвет;

...

A_k = пламя окрашено в желтый цвет;

...

A_n = пламя не изменило цвет.

Адекватный ответ на вопрос «почему?» является объяснением факта в том случае, если скорее истинна A_k , чем другая возможная альтернатива.

Критика прагматической модели объяснения

Первый критический аргумент был выдвинут со стороны реалистов В. Салмоном и Ф. Китчером. Они указали, что поскольку ван Фраасен не налагает никаких ограничений на вид отношений R , могут возникнуть проблемы при решении вопроса о том, какие отношения считать релевантными. Выбор этих отношений полностью определяется тем, кто задает вопрос. В прагматической модели считается, что ответ релевантен, если он находится в отношении R с темой T . Но тогда нужно заключить некоторые соглашения о том, какие отношения считать релевантными. Без введения ограничений на отношение R любой ответ на вопрос будет являться объяснением любой альтернативы A_k .

Такой подход создает опасность тривиализации. Поскольку множество альтернатив строго не детерминировано, то оно может оказаться нерелевантным. Для любого вопроса Q можно построить соответствующий вопрос Q' , для которого множество альтернатив будет $A = \langle Q', \neg Q \rangle$. Тогда на вопрос «почему B ?» ответом будет «потому что B ».

Еще один критический аргумент был предложен в рамках холистического подхода, разработанного Райлтоном¹⁹². Он вводит поня-

¹⁹² Холистическая концепция изложена в докторской диссертации Райлтона: *Railton P. Explaining Explanation: A Realist Account of Scientific Explanation. Dissertation, Princeton Univ., 1980.* В этой работе он вводит ряд понятий, одним из которых является понятие идеального объяснительного текста. Идеальный объяс-

тие *идеального объяснительного текста* для данного факта, что подразумевает максимально исчерпывающее и детальное описание всех факторов, ответственных за появление данного факта. В этом подходе прагматическое объяснение становится частью идеального объяснительного текста. Выбор, какой именно частью (или задание контекста), определяется не только задаваемым вопросом, но и случайными факторами, такими как квалификация спрашивающего, его знания и интересы. В итоге объяснение должно отражать объективные релевантные отношения, а кроме того, особенности выбора информации. Но это обстоятельство, по-видимому, не было учтено Фраассеном, который считает, что объяснительная информация полностью определяется контекстом.

Центральной проблемой прагматической модели является определение класса реальных релевантных отношений, которые возникают в вопросах «почему?» в разных науках в различное время. Различия в вопросах «почему?» появляются, в частности, из-за различия во взглядах на характер вопроса, поскольку любая объяснительная концепция имеет свою позицию относительно того, чем считать вопрос. Чтобы решить эту проблему, Ф. Китчер предлагает свою взгляд на объяснение, как на унификацию (см. далее).

нительный текст должен включать все причинные зависимости и законы, которые могут быть ответственны за происхождение объясняемого события. Такой текст является, конечно же, идеализацией, которая практически неосуществима. Для объяснения реального факта достаточно иметь не весь объяснительный текст, а только его необходимые части. Достоинством введенного понятия, как полагает Райлтон, является возможность гарантировать корректность объяснения, которая обеспечивается за счет того, что идеальный объяснительный текст включает объективную причинность и основные характерные особенности окружающего мира. Последнее предположение, конечно же, может быть оспорено: *a priori* мы часто не знаем об истинных причинах событий и поэтому не можем ни составить объяснительный текст, ни выбрать те его части (если бы он был действительно составлен), которые необходимы для объяснения рассматриваемого события. Кроме того, при рассмотрении реальных событий, по-видимому, невозможно обеспечить полноту рассмотрения, поэтому любой идеальный объяснительный текст будет бесконечным.

3.4.6. Унификационная модель научного объяснения Ф. Китчера

Преыдущие модели объяснения – модели Гемпеля и ван Фраасена – касались отдельных объяснительных предложений. Филипп Китчер развивает идею о том, что успешное объяснение может быть связано только с некоторым множеством предложений, объяснительной концепцией, в целом обладающей определенным объяснительным резервом. Определение понятия «объяснительного резерва» и нахождение условий, при которых тот или иной текст сыграет роль объяснения, является центральной проблемой унификационной модели. Китчер пишет: «фундаментальная задача теории объяснения заключается в том, чтобы определить условия объяснительного резерва»¹⁹³. Наука предлагает нам объяснение явлений, однако достоинства научного объяснения не могут быть замечены, если рассматривать в отдельности каждое предложение. Эти достоинства могут быть поняты только в составе целостного представления, как часть «систематической картины порядка природы».

Филипп Китчер отмечает, что предшествующие модели понимали объяснение как аргумент и такое понимание упускает из виду важные особенности объяснения. Он указывает на то, что, во-первых, применение дедуктивно-номологической модели Гемпеля проблематично, а во-вторых, она не универсальна, так как не охватывает статистические объяснения и объяснения, применяемые в гуманитарных науках. Проблемы, связанные с использованием гемпелевской модели, следующие.

1) Объяснение не всегда строится как подведение под обшей закон. В гуманитарных и биологических науках в качестве объяснения часто используется «исторический нарратив» – рассказ об истории, поясняющей, почему произошло данное явление. Например, эволюционная теория может разрешить проблему происхождения видов.

2) Иногда трудно отличить научный закон от случайных обобщений.

¹⁹³ *Kitcher P. Explanatory Unification and Causal Structure of the World // Scientific Explanation. Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, 1989. V. XIII. P. 419.*

3) Иногда сложно сделать заключение о необходимости и достаточности условий объяснения. Один и тот же набор условий может оказаться в одном случае достаточным, а в другом – нет.

4) Существует целый класс статистических объяснений, для которых формулируются статистические законы. Схема Гемпеля предполагает использование только необходимых законов, но не разрешает применение высоковероятных суждений.

Следовательно, заключает Китчер, понятие объяснения необходимо расширить. Если Гемпель считает, что:

1) объяснение является видом аргументации;

2) экспланандум представляет собой предложение, которое описывает объясняемый феномен;

3) эксплананс должен содержать по крайней мере один закон природы,

то Китчер утверждает, что нужно рассматривать не изолированное предложение, а набор предложений, составляющих *объяснительную историю*. «Объяснительная история, связанная с наукой в определенное время, содержит те начала, которые вместе обеспечивают наилучшую систематизацию наших вер»¹⁹⁴. Наука улучшает наше понимание природы, демонстрируя, каким образом одни и те же образцы могут применяться вновь и вновь для описания множества явлений. И это позволяет упорядочить множество разрозненных фактов в единую систему.

Объяснительная история образует обладающее единством (unification) множество посылок; при этом возникает вопрос минимальности (максимальности) числа посылок. «Итак, я должен сформулировать критерий унификации, основанный на идее о том, что $E(K)$ является множеством начал, задающих наилучший выбор между минимальным числом начальных образцов, которые используются для получения максимального множества заключений»¹⁹⁵.

¹⁹⁴ Kitcher P. The Unification Model of Scientific Explanation // Philosophy of Science / Ed. by M. Curd and J. A. Cover. NY. W. W. Norton and Co, 1998. P. 184.

¹⁹⁵ Ibid. P. 185.

Нарратив может служить объяснением, даже если мы не знаем, как представить его в виде аргумента. Мы можем привести объяснение, не раскрывая всех деталей и учитывая только интуицию того, кто хочет получить объяснение. Следовательно, нужно делать различия между идеальным объяснением и объяснительной информацией.

Понимая объяснение как унификации, Китчер критикует концепцию Гемпеля, говоря, что хотя аргумент может пониматься как упорядоченная пара, первый член которой есть множество утверждений, а второй член – сингулярное утверждение, однако с точки зрения систематизирующего подхода (*systematization account*) аргумент рассматривается как логически связанная последовательность утверждений. Эти утверждения связаны как посылки и следствия из предыдущих предложений в соответствии с некоторыми правилами вывода. Идеальное объяснение – это не просто список предположений; оно показывает, каким образом посылки приводят к заключению.

Кроме того, Китчер вводит понятие контекста K , представляющего собой непротиворечивое и дедуктивно замкнутое множество, которое обеспечивает объяснительный резерв единственным образом. Обозначим через $E(K)$ множество производных, которые лучше систематизируют K , и оказывается, что критерий систематизируемости есть унификация. Это множество производных представляет собой множество объяснений, которые должны приниматься теми, чья вера включает в себя K .

Сам критерий унификации основывается на идее о том, что $E(K)$ является множеством производных исходных положений, обеспечивающих согласование набора исходных фактов с помощью небольшого числа образцов, максимизирующих количество сгенерированных заключений.

В качестве примера объяснительной истории Китчер указывает на теории эволюционных учений, служащие объяснением происхождения биологических видов. Наука дает нам понимание природы, показывая, как описать многие явления, «используя те же самые образцы снова и снова и, демонстрируя это, она учит нас, как свести воедино множество фактов, которое дано нам как исходное»¹⁹⁶.

¹⁹⁶ *Kitcher P. The Unification Model of Scientific Explanation. P.82.*

3.4.7. Случайная (Aleatory) модель научного объяснения Пауля Хамфриса

Данный подход является попыткой построить модель причинного объяснения. Основанием для выдвижения данной модели служит поставленная Юмом проблема, связанная с трудностью различать случайно сопутствующие явления и причинные связи. Поскольку связь между причинностью и необходимостью все еще не прояснена, постольку Хамфрис предложил собственное определение причинности.

« B является непосредственной причиной A только в случае, когда:

- 1) произошло A ;
- 2) произошло B ;
- 3) B увеличивает шансы появления A во всех обстоятельствах Z , которые логически совместимы с A и B , а также с A и B_0 , где B_0 – нейтральное состояние, такое, что $P(A|B\&Z) > P(A|B_0\&Z)$ для всех Z ;
- 4) в Z и A являются логически независимыми.

Аналогично, B непосредственно препятствует A только в том случае, когда выполняются 1), 2), 3) и 4), если слово «увеличивает» заменить на слово «уменьшает» и обратить знак неравенства»¹⁹⁷.

Основная идея Хамфриса заключается в том, что объяснение должно состоять в указании причины, поскольку причина делает тот эффект, который должен произойти, инвариантным относительно изменения вероятности сопутствующих событий. Ключевым понятием алеаторной модели является «инвариантность». Явление инвариантно, если оно не зависит от выбора той ситуации, в которой оно произойдет.

Хамфрис выделяет два типа причин: противодействующие причины, уменьшающие вероятность события, и содействующие причины, увеличивающие вероятность события. Известный причинный фактор должен изменять вероятность события независимо от действия всех других факторов и при любых обстоятельствах. При этом

¹⁹⁷ *Humphreys P. The Aleatory Model of Scientific Explanation // Philosophy of Science / Ed. by M. Curd and J. A. Cover. NY. W. W. Norton and Co, 1998. P. 190-196.*

не важно точное значение вероятности, нужно только знать, повышается она или понижается.

Алеаторная модель Хамфриса сталкивается со следующей проблемой. Требование, чтобы вероятность наступления события была инвариантной относительно любых возможных обстоятельств, слишком идеалистично. Причина вызывает некоторое явление только при определенных условиях, поэтому уместнее говорить о частной причине и, следовательно, о частичном объяснении. Кроме того, требование независимости от остальных факторов и обстоятельств противоречит тому, что научная теория объясняет явления для своей области приложения, а не вообще. Следовательно, иные факторы и условия, при которых происходит событие, тоже необходимо учитывать.

3.4.8. Статистически-релевантная модель В. Салмона

В отличие от предыдущих моделей, нацеленных на объяснение отдельных событий, статистически релевантная модель ориентирована на объяснение классов явлений: «достоинство или полезность научного объяснения должны определяться относительно возможности учитывать целые классы явлений, а не относительно возможности обсуждать какие-либо частные явления»¹⁹⁸. Статистическое объяснение заключается в выделении факторов, релевантных произошедшему (или не произошедшему) объясняемому событию. В этом случае в фокусе внимания оказываются те условия, относительно которых данное объяснение имеет высокую вероятность.

Статистически-релевантные отношения с необходимостью предполагают наличие соответствующих причинных отношений, отсылающих к некоторым теоретическим сущностям и, таким образом, вводят теоретическое объяснение. В основе модели Салмона лежит принцип общей причинности, разработанный Рейхенбахом. Предполагается, что если какие-либо два события сопутствуют друг другу, то существует явление, которое является общей причиной для них обоих: «Когда предположительно несвязанные события происходят вместе чаще, чем можно было бы ожидать, если бы они были

¹⁹⁸ Salmon W. C. Causality and Explanation. Oxford: Oxford Univ. Press, 1998. P. 109.

независимыми, тогда предполагается, что существует общая причина»¹⁹⁹.

Принцип общей причинности

Стандартное определение статистической независимости гласит, что два события A и B , происходящие с вероятностью $P(A)$ и $P(B)$, являются статистически независимыми тогда и только тогда, когда вероятность того, что они произойдут совместно $P(A \& B)$ равна произведению вероятностей индивидуальных событий:

$$P(A \& B) = P(A) \times P(B).$$

Если вероятность того, что оба события случатся совместно, больше или меньше произведения их вероятностей, то они статистически зависимы, или статистически релевантны. Таким образом, статистическая независимость и статистическая релевантность являются антонимами. Согласно Рейхенбаху, основной принцип объяснения должен быть следующим: любое отношение статистической релевантности должно быть объяснено сведением его к отношению причинной релевантности.

Салмон приводит для иллюстрации следующий пример: два студента сдают преподавателю одинаковые рефераты. Тогда преподаватель предполагает, что один из них списал у другого и это является причиной совпадения. Но если студенты друг у друга не списывали, то существует некий источник (реферат в Интернете), с которого они оба списали, и это объяснение основано на общей причине.

Формальная запись принципа общей причинности основана на определении статистической релевантности событий A и B : $P(B) \neq P(B/A)$. Если существует положительная статистическая релевантность, то

$$P(B/A) > P(B) \text{ и } P(B/A) > P(A).$$

Отсюда следует, что

$$P(A \& B) > P(A) \times P(B).$$

Чтобы объяснить это неправдоподобное совпадение, попытаемся найти общую причину C , такую что:

$$P(A \& B/C) > P(A/C) \times P(B/C).$$

Согласно данному неравенству, при наличии общей причины C оба события A и B становятся более независимыми. Статистическая зависимость, образно говоря, поглощается причинной релевантно-

¹⁹⁹ Salmon W. C. Causality and Explanation. P. 110.

стью C и A , а также C и B . При этом C должно быть статистически релевантным обоим событиям A и B :

$$P(A/C) > P(A) \text{ и } P(B/C) > P(B).$$

Статистически релевантные отношения должны быть объяснены на языке двух причинных процессов, в которых C причинно релевантно A и C причинно релевантно B .

Если общая причина отсутствует, то не имеет места списывание рефератов в приведенном выше примере и, следовательно, мы не сможем установить идентичность двух рефератов. Таким образом, нет «принципа общего эффекта», обратного принципу общей причинности, и не возникает временная асимметрия объяснения, являющаяся проблемой для дедуктивно-номологической модели.

Проблема Юма

Статистически-релевантная модель объяснения сталкивается с необходимостью отличать причинную связь явлений от постоянно сопутствующих явлений, не имеющих такой связи. Например, барометр может предсказывать шторм, однако показания барометра не являются причиной шторма. Рейхенбах пытался различными способами описать причинную релевантность в терминах статистической релевантности.

Чтобы выявить истинные причинные связи, используется возможность обратного взаимодействия: барометр не может повлиять на шторм. Статистически сопутствующие явления представляют собой «фактически только конкретные образцы тесно связанных событий, произведенных общей причиной»²⁰⁰. Отличительным признаком причинно-связанных событий является их пространственно-временная непрерывность, то есть возможность передачи информации в пространстве-времени.

Еще одна фундаментальная характеристика причинного влияния – его асимметрический характер, в этом смысле оно отличается от отношения статистической релевантности. Отсюда следует определение статистической релевантности: A релевантно B тогда и только тогда, когда B релевантно A . Общая причина находится в асимметричных отношениях со своими следствиями. Салмон подчеркивает, что асимметричность причинности позволяет решить проблему

²⁰⁰ Salmon W. C. Causality and Explanation. P. 115.

симметричности объяснения и предсказания, стоящую перед дедуктивно-номологической моделью Гемпеля.

Хотя две фундаментальные характеристики причинного влияния являются необходимыми свойствами причинных процессов, однако их недостаточно, чтобы отличить причинную релевантность от статистической релевантности. Например, рассмотрим движение луча света, испускаемого вращающимся маячком. Световое пятно с высокой вероятностью будет появляться через одинаковое время в одном и том же месте. Несмотря на пространственно-временную непрерывность и асимметрический характер процесс возникновения светового пятна не является необходимым (маячок может быть выключен). Этот пример показывает, что непрчинный процесс, как и причинный, может быть непрерывным в пространстве-времени и события, вовлеченные в него, могут быть статистически релевантными. Последнее обстоятельство указывает на недостаточность необходимых характеристик причинных процессов для различения между причинным и непрчинным процессами.

С точки зрения Салмона, любая корреляция между событиями указывает на наличие общей причины и служит ее знаком (mark). Случайное следование событий тоже требует объяснения, и значит, происходит передача знака события – информации в пространстве и во времени. Салмон полагает, что пространственно-временная непрерывность играет главную роль в теоретическом объяснении.

Пространственно-временная непрерывность и теоретическое объяснение

Если A причинно связано с B , то B лежит внутри светового конуса A , в его абсолютном прошлом. Соответственно, общая причина двух статистически-релевантных событий находится на пересечении двух световых конусов этих событий, в абсолютном прошлом.

Исследуя внутреннюю часть и границы светового конуса в окрестности события A , можно сделать вывод о причинной релевантности некоторого события C , если оно находится в абсолютном прошлом события A . Таким образом, причинная релевантность позволяет ограничить пространственно-временную область, в которой могли разворачиваться причинные последовательности событий.

Однако любые два события во Вселенной могут быть статистически релевантными, так как статистическая релевантность не имеет пространственно-временных ограничений. Но в этом случае

связь между данными событиями может оказаться непознаваемой. Если же мы стремимся получить знания о мире, то необходимо использовать принцип общей причинности, считает Салмон. В таком случае мы должны быть уверены, что для любых двух статистически релевантных событий A и B на пересечении их световых конусов в абсолютном прошлом найдется событие C , которое и является их общей причиной. Указание общей причины экранирует статистическую релевантность в том смысле, что после нахождения общей причины события A и B становятся независимыми:

Если $P(A/B) > P(A)$ и $P(A/C) > P(A)$, то
 $P(A/B \& C) = P(A/C)$.

Далее Салмон пытается обосновать идею, что причинное объяснение должно с необходимостью вводить метафизику. Ссылаясь на работу Рейхенбаха, Салмон заявляет: «в “Experience and Prediction” Рейхенбах утверждает, что теория вероятности дает возможность заключить с большей вероятностью о существовании ненаблюдаемых сущностей»²⁰¹. Салмон приходит к выводу, что только введение ненаблюдаемых сущностей позволит познать мир наиболее полно. Мы объясняем процесс нагревания жидкости через увеличение скорости движения молекул. Аналогично постулируется существование микробов, вирусов, генов, введенных для объяснения наблюдаемых явлений.

Салмон также пытается указать на необходимость теоретического объяснения в моделях Гемпеля. Поскольку Гемпель основывает объяснение на универсальном законе, постольку он должен, по мнению Салмона, использовать теоретическое объяснение. «Эмпирический закон, универсальный или статистический, объясняется

²⁰¹ *Salmon W. C. Causality and Explanation*. P. 118. Сравните это утверждение Салмона со следующей цитатой: «концепция направленной причинности не ведет с необходимостью к какой-то метафизике, ... различие между причинными и просто функциональными отношениями вполне успешно можно провести и в рамках эмпирической философии, настаивающей на том, чтобы все утверждения, имеющие научный характер, были верифицируемы с помощью наблюдаемых». *Рейхенбах Г. Направление времени*. М.: УРСС, 2003. С. 46. Философию Рейхенбаха причисляют к логическому позитивизму, отрицательно относившемуся ко всякой метафизике, поэтому приписывание Рейхенбаху идеи о необходимости теоретического объяснения выглядит весьма сомнительным.

выводом из более общих законов или теорий. Дедуктивная категоризация является ключевой для теоретического объяснения»²⁰².

Основным недостатком статистически-релевантной модели Салмона, помимо уже упомянутой проблемы Юма, является невозможность применения для объяснения явлений микромира. Если в механике и теории относительности взаимодействие передается с помощью контакта тел или электромагнитных волн и вполне может быть описано в терминах причинного взаимодействия, то квантовая механика с парадоксами нелокальности представляет собой проблему и для причинного объяснения, и для модели Салмона.

Рассмотренные модели объяснения могут быть объединены в три группы в зависимости от подхода к объяснению: эпистемический, модальный и онтический. Сторонники эпистемического подхода рассматривают объяснение как вывод или аргумент (этот подход представлен, в основном, Гемпелем); в модальном подходе объяснение строится по схеме «случилось то, что должно было случиться»; онтический подход предполагает причинность.

3.4.9. Классификация подходов к проблеме объяснения: эпистемический подход

Эпистемическая концепция наиболее широко известна. Согласно Гемпелю, объяснение является аргументом, или выводом объясняемого явления из уже известных фактов и законов. Модель ван Фрассена также может быть отнесена к данному классу.

Основная проблема, связанная с принятием эпистемической концепции, – это проблема объяснения событий, имеющих низкую вероятность. Объяснение статуса событий, которые случаются со средней или низкой вероятностью, является проблематичным и для дедуктивно-номологической, и для индуктивно-статистической модели Гемпеля, поскольку в обеих моделях предполагается, что в состав экспланандума должен входить закон.

Например, если у гетерозиготных черноглазых родителей с вероятностью 25 % родится голубоглазый ребенок, то это хорошо известный случай, но он необъясним с позиции моделей Гемпеля, потому что имеет низкую вероятность. Рождение в 75 % случаев чер-

²⁰² Salmon W. C. Causality and Explanation. P. 122.

ноглазого ребенка модели Гемпеля объясняют хорошо, и получается, что имеется странная асимметрия в объяснении этих эквивалентных событий.

Модель Фраассена более тонкая, она лучше продумана и наиболее устойчива против критики со стороны реалистов. Центральная проблема для данной модели – принятие контраст-класса. Если Фраассен потребует увеличить вероятность эксплананса (топика, или темы) по отношению к другим альтернативам, то он столкнется с той же проблемой, что и Гемпель: как быть с требованием высокой вероятности в случае рождения голубоглазого ребенка. Введение требования предпочтения более вероятных событий влечет неизбежное следствие: модель объясняет более вероятное случившееся событие, но не маловероятное.

3.4.10. Классификация подходов к проблеме объяснения: модальный подход

Модальный подход пытается обойти проблему объяснения маловероятных событий, но индетерминизм квантовой механики делает несостоятельным и этот подход. В результате приверженцы модального подхода оказываются на перепутье: либо принять детерминизм а priori, либо ввести степени необходимости, либо предположить существование несводимых и необъяснимых статистических событий. Архаичное принятие детерминизма переводит эту концепцию в следующий онтический класс. Введение степеней необходимости ведет к путанице и является неясным. Третий вариант остается самым перспективным: одна из основных физических теорий – квантовая механика, имеющая значительную объяснительную силу, требует статистической интерпретации.

Фон Вригт пытался развить указанную линию аргументации, заменяя в дедуктивно-номологической модели Гемпеля универсальный закон на статистическую корреляцию и получая новую – дедуктивно-статистическую модель. Данная модель может быть использована для объяснения статистической регулярности с помощью демонстрации того, что эта регулярность с необходимостью следует из одного или более статистических законов и начальных условий. В принципе, модель фон Вригта полностью совпадает с дедуктивно-номологической моделью Гемпеля, если не настаивать на использовании именно универсальных законов.

Рассматриваемая модель пригодна для объяснения статистических регулярностей, например туннельного эффекта в квантовой механике, но она беспомощна при объяснении отдельных событий. В рамках этой модели можно объяснить, что три четверти детей темноглазых гетерозиготных родителей будут темноглазыми, а четверть – голубоглазыми, но нельзя объяснить цвет глаз каждого отдельного ребенка. Конечно, можно предположить, что задача науки – объяснение лишь общих закономерностей, а не отдельный явлений. Это, однако, не совсем верно, поскольку, например, Резерфорд хотел объяснить именно редкое явление.

3.4.11. Классификация подходов к проблеме объяснения: онтический подход

Философы-реалисты предполагают, что объяснение обязательно должно содержать указание причины. В. Салмон выделяет два причинных механизма:

- 1) пространственно-временную непрерывность причинных процессов, передающую причинное влияние от одной части пространства-времени к другой;
- 2) причинное взаимодействие двух или более причинных процессов, пересекающихся в пространстве и времени.

При выделении причинных процессов возникает проблема Юма: как отличить истинную причинно-следственную связь от случайно сопутствующих событий. В качестве решения этой проблемы Салмон предлагает использовать передачу причинного влияния. Хотя псевдо-процесс может демонстрировать подобную регулярность, однако он не имеет возможности передавать причинное влияние.

В оправдание данного подхода приводятся следующие доводы. Во многих случаях объяснение заключается в указании причины, по которой произошло событие. Например, для объяснения того, что археологи раскопали окаменелые останки в данном регионе, следует указать причину, по которой эти останки там оказались. Объяснения такого рода называются *этиологическими*. Иного рода объяснения данного явления требуют проведения анализа самого явления. Например, мы объясняем давление газа в терминах взаимодействия газа и сосуда как удары молекул газа о стенки сосуда. Такое объяснение называют *конститутивным*. Для объяснения разрушения Хиросимы во время ядерной бомбардировки нужно либо ука-

зять механизм ядерной реакции (конститутивный аспект), либо как бомба была доставлена и сброшена (этиологический аспект). Оба вида объяснения требуют указания причинных механизмов.

Согласно онтическому подходу, объяснение событий подразумевает либо демонстрацию того, как событие включено в причинную сеть, либо демонстрацию внутренней структуры, которая может послужить причиной события, например, структура атома позволяет понять явление радиоактивности. Однако внутренняя целостная структура устанавливается не достоверно, а с некоторой вероятностью.

Онтический подход сталкивается со следующими проблемами. Во-первых, трудно обеспечить адекватный анализ причинных зависимостей. Во-вторых, проблематично дать причинное объяснение многим квантово-механическим эффектам, например парадоксу Эйнштейна-Подольского-Розена, в котором имеет место нелокальность.

Итак, после краткого обзора основных моделей объяснения, подведем некоторые итоги. Проблема объяснения не решена до сих пор. Ни одна из моделей не является безупречной, каждая имеет свои достоинства и свои недостатки. То, какой модели придерживаться, очень часто зависит от вкуса и от отношения к онтологическим предпосылкам научной теории. Антиреалисту будут ближе модели Гемпеля и ван Фраассена, а реалисту – модели Китчера, Хамфриса и Салмона.

Моя позиция в данном вопросе определяется тем, что принимаемая точка зрения должна быть как можно ближе к тому пониманию объяснения, которое сложилось в среде ученых. И хотя в этом вопросе как среди философов, так и среди ученых согласия нет, более универсальным является рассмотрение объяснения как подведения под закон.

Если под объяснением понимать установление причин, то придется отказаться от рассмотрения многих важных феноменологических научных теорий, таких как квантовая механика или термодинамика. Если под объяснением понимать установление связей или зависимостей между явлениями, то можно констатировать наличие объяснительной силы даже у феноменологических теорий. Наличие связи между явлениями должно быть выражено некоторым законом, причем сама связь должна

быть существенной, необходимой, устойчивой. Мы будем считать, что явление объяснено данной теорией, если существует закон, который фиксирует связь этого явления с другими. Теория обладает *объяснительной силой*, если она объясняет все факты и явления в своей области приложения.

Понятие области приложения весьма неопределенно: успешная теория постоянно применяется во все новых областях. Тем не менее можно зафиксировать случаи, когда она выходит за пределы своей области применения:

1) объяснение экспериментальных данных требует допущений, противоречащих исходным положениям теории (один из древнейших примеров – несоизмеримость диагонали квадрата и его стороны. Проблема была решена только с открытием иррациональных чисел, т. е. с использованием более общей теории. Фактически, здесь открытие было одновременно решением проблемы);

2) достигнуты границы применимости теории, в частности, в новой области не определены некоторые понятия.

Расширение области применимости теории может быть проведено добавлением дополнительных постулатов.

Например, в специальной теории относительности рассматриваются инерциальные системы отсчета. Эйнштейн постулировал, что действие гравитации эквивалентно ускоренному движению, что позволило распространить идею относительности на неинерциальные системы отсчета. Если же дальнейшее расширение теории в данной области невозможно, то это должно быть доказано.

Итак, под объяснением мы будем понимать подведение под закон, который фиксирует связь изучаемого явления с другими. Теория обладает *объяснительной силой*, если она объясняет все факты и явления в своей области приложения. Теория обладает *предсказательной силой*, если она предсказала хотя бы один новый факт, существование природного объекта или явления.

3.5. Соответствие новой теории существующим теориям (преемственность теорий)

Процесс производства нового знания важен сам по себе, поскольку является средством развития общечеловеческой культуры. Однако чтобы новое знание оказалось доступным для других людей, необходимо, чтобы оно было представлено в соответствии с определенными нормами и правилами, сложившимися исторически. «Важно не столько произвести новое знание, сколько вписать его в культуру, сделать условием эффективной адаптации человека в динамично меняющейся реальности»²⁰³. Научная теория сохраняет не только фактическое содержание старых теорий, она наследует также их стандарты и нормы исследования. «Развитие знания подвержено влиянию традиций, и даже тогда, когда старые традиции рушатся, в новом знании сохраняются некоторые их элементы... Эти наиболее устойчивые элементы и относятся к основаниям науки»²⁰⁴.

Соответствие сложившимся нормам имеет эвристическое значение: когда новая концепция разрабатывается, фактов, позволяющих подтвердить ее истинность и сделать обоснованный выбор, пока недостаточно. Поэтому при выдвижении новой теории ее сторонники «защищают свои позиции, апеллируя не только к фактам, но и к исходным методологическим установкам, принципам, предпосылкам соответствующего направления, которые и задают в существенных чертах «видение», оценку проблемной ситуации»²⁰⁵.

Для иллюстрации сказанного приведем примером того, как предложенная гипотеза не принималась в течение долгого времени, несмотря на ее плодотворность и истинность. М. Склодовская-Кюри высказала идею радиоактивной трансформации элементов, которая позднее была обоснована и поддержана Э. Резерфордом и Ф. Содди. Согласно этой идее, источник энергии радиоактивных процессов должен быть внутри-

²⁰³ *Зеленков А. И.* Научные революции и стабилизирующие функции культурной традиции.

²⁰⁴ *Панченко А. И.* Философия. Физика. Микромир. М.: Наука, 1988. С. 12.

²⁰⁵ *Амбарцумян В. А., Казютинский В. В.* Нестационарные объекты Вселенной и современная революция в астрономии. С. 188.

атомным. Поначалу данная точка зрения встретила решительное сопротивление, поскольку она противоречила «освященным многовековой традицией положениям о неделимости атома»²⁰⁶. Кроме того, для некоторых радиоактивных веществ не нашлось места в периодической системе Менделеева, что также свидетельствовало не в пользу новой концепции. Многие продолжали считать, что радиоактивность вызывается внешними причинами. Только в 1920-е гг. радиоактивность получила теоретическое объяснение в рамках квантовой механики.

В начале прошлого века позитивисты считали отношения между теориями простыми и непроблематичными. Казалось, что все теории можно аксиоматизировать, а развитие каждой новой теории заключается в простом расширении системы аксиом путем добавления новых. Этот взгляд на отношения теорий соответствовал кумулятивной модели научного знания, согласно которой научное знание непрерывно накапливается, а новые теории просто добавляются к старым и расширяют их содержание.

Позднее оказалось, что отношения между теориями совсем не так просты. Т. Кун и П. Фейерабенд показали, что процесс развития науки не является кумулятивным. Старые теории часто отбрасываются, но и в тех случаях, когда они сохраняются, они становятся несоизмеримыми с новыми. Это связано с тем, что даже если две теории используют один и тот же термин, его значения все равно будут различными, поэтому говорить о какой-либо преемственности теорий нельзя. Многие советские авторы считали, что несоизмеримость понятий в данном случае преувеличена. Действительно, при переходе к новым теориям «чаще всего их содержание так или иначе меняется соответственно вновь раскрываемым особенностям общего свойства, отражаемого ими. Однако их физическая суть в конечном счете оказывается той же самой»²⁰⁷.

Тем не менее Кун и Фейерабенд поставили важный вопрос о процессе переноса понятий из одной теории в другую. Этот процесс не является простым заимствованием, как могло бы показаться на первый взгляд. «Чаще всего, когда происходит воз-

²⁰⁶ Амбарцумян В. А., Казютинский В. В. Нестационарные объекты... С. 189.

²⁰⁷ Кузнецов И. В. Структура научной теории и структура ее объекта // Вопросы философии. 1968. № 5. С. 7.

никновение новой теории, заранее нельзя сказать, окажутся ли применимы прежние понятия в новой области»²⁰⁸. Лишь постепенно выясняется, какие из старых понятий применимы в новой области, а также определяется, насколько изменяется при этом их смысл.

Вопрос о связи старой и новой теории был подробно исследован, в частности, И. В. Кузнецовым²⁰⁹ и М. Бунге. Вывод Кузнецова оптимистичен, автор указывает множество вариантов преемственности теорий. Марио Бунге гораздо более сдержан: по его мнению, отношения между теориями весьма непростые. Рассмотрим подробнее их точки зрения

3.5.1. Возможные отношения между теориями

И. В. Кузнецов перечислил элементы, посредством которых осуществляется связь между новой и старой теориями. Вот его перечень:

1) Перенос понятий и использование категорий. Обеспечивают существование тождественных элементов в концептуальных системах разных теорий.

2) Перенос законов из одних теорий в другие. Создаются общие элементы в системах законов, соответствующих разным теориям.

3) Инвариантность законов различных теорий по отношению к одним и тем же типам преобразований. Образует сходство структур в системах законов разных теорий.

4) Выводимость фундаментальных законов всех теорий из универсального вариационного принципа. Устанавливается аналогичность математического аппарата теорий.

5) Предельный переход новых теорий в старые при надлежащих условиях. Принцип соответствия, благодаря которому прежние теории становятся частными случаями новых.

Перенос понятий не гарантирует сохранения их содержания. Перенос законов требует, чтобы классы референтов теории были тождественны. Более перспективным с точки зрения преемственности теорий выглядит использование идентичного мате-

²⁰⁸ Кузнецов И. В. Структура научной теории и структура ее объекта. С. 8.

²⁰⁹ Там же. С. 9.

матического формализма, который, впрочем, не гарантирует семантической тождественности теорий. Законы электродинамики и 4-х интервал в специальной теории относительности инвариантны относительно преобразований Лоренца, но эти формулы имеют отношения к различным классам явлений.

Выводимость законов теорий из вариационного принципа является хорошим требованием сводимости, но данный принцип не универсален. Далеко не все законы допускают такое представление. Наконец, принцип соответствия обеспечивает предельный переход только одного закона, и асимптотически полученная теория может и не совпадать с прежней. С принципом соответствия связана вера в то, что старая теория является асимптотическим приближением новой. Бунге приводил ряд примеров, «которые в значительной степени подрывают миф, имеющий хождение в учебной литературе, согласно которому любая релятивистская теория переходит в какую-либо одну содержательную классическую теорию, когда $c \rightarrow \infty$ (или, точнее для $v \ll c$). Кроме того, получающиеся в результате нерелятивистские приближения могут сохранять некоторые типично релятивистские члены, так что эти приближения оказывается невозможным полностью и во всех деталях согласовать с соответствующей классической теорией... При малых скоростях приближенное выражение общей энергии частицы сводится к энергии покоя mc^2 , как это должно было бы быть, если бы динамика специальной теории относительности действительно согласовывалась с классической динамикой малых скоростей»²¹⁰.

Тем не менее принцип соответствия, введенный Бором для квантовой механики, служит основой для общепринятого понимания соответствия теорий. Это требование очень важно для физики микромира, в которой можно наблюдать квантовые явления только применяя макроскопические приборы, а для их создания необходимы знания механики и электродинамики. Однако Бор вводил принцип соответствия для частного случая – соответствия результатам классической механики в предельном случае; распространение данного принципа на всю физику требует обоснования его правомерности в других областях. Кроме

²¹⁰ Бунге М. Философия физики. М.: Прогресс, 1975. С. 263.

того, даже принятие принципа соответствия – требования включения существующих теорий как предельных случаев новой – не гарантирует непротиворечивости их следствий. Например, согласно общему принципу соответствия формулы СТО переходят в формулы механики Ньютона при малых скоростях, но следствия СТО об относительности одновременности противоречат представлениям механики Ньютона об абсолютном времени.

Кузнецов также подчеркивает требование сохранения эмпирического содержания теорий: «отрицая старые, новые теории вместе с тем опирались на них. Они вбирали в себя то, что в старых теориях было подтверждено опытом... Необходимая преемственная связь старых и новых теорий – закон научного познания, без нее невозможен прогресс науки»²¹¹. Требуется, чтобы новая теория сохраняла эмпирическое содержание старых, хотя при этом полного соответствия в теоретической части, как правило, не существует. Однако кумулятивность фактов тоже была опровергнута еще в начале XX в. польским врачом и философом Людвигом Флеком²¹², показавшим, что изменялись не только теории, но и восприятие фактов. Таким образом, известные факты также могут быть отброшены.

3.5.2. Отношения между теориями: формальные, семантические и прагматические (по М. Бунге)

Марио Бунге начинает анализ отношений между теориями с рассмотрения существующих взглядов на этот вопрос и убеждается в наивности общепринятых представлений. Интуитивный подход к проблеме приводит к обманчивым выводам и упрощенным представлениям. Философы часто предполагают, что история науки пестрит примерами успешных редукций, но на самом деле почти нет сводимых друг к другу физических теорий. Когда сравниваются две теории, то они не формулируются упорядоченным образом, а вместо систематического сравнения сопоставляются два фрагмента теорий, содержащих типичные понятия и утверждения. На основе такого подхода делается об-

²¹¹ Кузнецов И. В. Структура научной теории и структура ее объекта. С. 6.

²¹² Флек Л. Возникновение и развитие научного факта: введение в теорию стиля мышления и мыслительного коллектива. М.: Идея-Пресс, 1999.

ший вывод о логических отношениях между теориями, который не обоснован. Бунге считает, что вопрос об отношениях между теориями требует подробного анализа.

Свой анализ Бунге начинает с выделения трех типов отношений между теориями: формальных, семантических и прагматических. С формальной точки зрения, «две сопоставимых теории могут находиться в следующих отношениях: (i) изоморфизм, или с более общей точки зрения гомоморфизм; (ii) логическая (но не обязательно семантическая) эквивалентность, (iii) включение и (iv) частичное перекрывание»²¹³. Возможны следующие семантические отношения: предположения, предшествования, изменения значения. Наконец, прагматические отношения могут быть эвристическими и методологическими.

Формальные отношения между теориями

Чтобы выявить, какой случай формальных отношений реализуется, необходимо сначала аксиоматизировать теории, считает Бунге. Для этого выделяется первичное множество основных понятий Σ и их отношений P . Множество Σ представляет собой класс основных референтов теории T . Множество P представляет собой класс предикатов, описывающих свойства референтов или вещей из множества Σ . Сопоставление двух теорий T_1 и T_2 начинается со сравнения их первичных базисов:

Базис(T_1) = $\langle \Sigma_1, P_1 \rangle$ и *Базис*(T_2) = $\langle \Sigma_2, P_2 \rangle$.

Две теории изоморфны (гомоморфны), если существует взаимно-однозначное соответствие (или вложение) между классами и референтов, и предикатов, причем оно сохраняет структуру основных понятий. Последнее требование означает, что множеству должно быть поставлено в соответствие множество, а одноместному предикату – одноместный предикат. Единственный случай изоморфизма – изоморфизм матричной и волновой механики, причем данный изоморфизм не был доказан строго. Кроме того, Дирак указывал, что эти две теории все же не эквивалентны.

Эквивалентными являются динамики Гамильтона и Лагранжа, имеющие разные первичные базисы, но взаимопереводимые формулы, при условии наличия правила перевода $H = p\dot{q} - L$.

²¹³ Бунге М. Философия физики. М.: Прогресс, 1975. С. 271.

Эквивалентными будут и две различные формулировки одной и той же теории, хотя эти формулировки могут оказаться гетероморфными.

Включение теорий имеет место тогда, когда возможно осуществить формальную редукцию. Теория T_1 является расширением теории T_2 , если T_2 дедуктивно замкнута и все формулы теории T_2 имеются также в теории T_1 , но не наоборот. При включении T_2 ничего не добавляет к T_1 , а T_1 влечет за собой T_2 без дополнительных гипотез. С включением совпадает гомогенная редукция в смысле Нагеля (см. пункт 3.4.2). В общем случае количество формул может оказаться бесконечным, поэтому чтобы установить включение теорий, следует использовать первичные базисы теорий, представляющие собой конечные множества формул.

Семантические отношения между теориями

Отношение предположения. Любая теория основывается на некоторых предположениях, принимаемых как несомненные. Например, геометрическая оптика основывается на геометрии Евклида. Теория T_1 основывается на теории T_2 , если T_1 предполагает T_2 , иначе говоря, если теория T_2 принадлежит к ее предпосылкам. Более точно: «(i) теория T_2 является необходимым условием для придания определенного значения или правдоподобия теории T_1 , потому что T_1 содержит понятия, которые проясняются в теории T_2 , или утверждения, которые подтверждаются в теории T_2 , и (ii) теория T_2 не подвергается сомнению, в то время как теория T_1 строится, разрабатывается, критикуется, испытывается и применяется, то есть теория T_2 принимается за доказанную *pro tempore* (временно), во всяком случае до тех пор, пока рассматривается теория T_1 »²¹⁴.

Отношение предшествования теорий более слабое, чем предположение. Логика предшествует математике в слабом смысле, поскольку она задает лингвистические рамки для математических рассуждений и контролирует математические выводы. Однако одной логики недостаточно для построения матема-

²¹⁴ Бунге М. Философия физики. С. 276.

тики, математика всегда включает нелогические аксиомы, поэтому логика не предшествует математике в сильном смысле.

Изменение значения происходит, даже если теории согласуются в большинстве утверждений, как, например, механика Ньютона и теория относительности в случае малых скоростей. «Изменение значения нельзя компенсировать, потому что оно коренится в различиях структур этих теорий»²¹⁵. Так в приведенном примере расстояния в механике Ньютона не зависят от системы отсчета, а в теории относительности – зависят. При этом обе теории имеют одинаковые референты – материальные точки. Если определить понятие значения термина T как упорядоченную пару, состоящую из его смысла и его денотата:

Значение(T) = <смысл(T); денотат(T)>,

то изменение значения может происходить и из-за изменения смысла, и из-за изменения денотата.

Прагматические отношения между теориями

Основные виды прагматических отношений между теориями следующие:

«(а) Эвристические отношения: одна теория наводит на мысль о другой теории или помогает построить ее; (б) методологические отношения первого рода: одна теория является инструментом, с помощью которого изобретаются эмпирические проверки другой теории; (с) методологические отношения второго рода: одна теория (устоявшаяся, “авторитетная”) рассматривается как условие, которому другая теория (новая) должна удовлетворять, обычно в некотором “предельном случае”»²¹⁶.

Эвристические отношения не поддаются строгой классификации, но в некотором смысле они обратны чисто логическим. После того, как новая теория построена, эвристические «строительные леса» необходимо убрать, так как они могут помешать корректной формулировке формализма теории. Плодотворная теория может навести на мысли о том, как может быть усовершенствована старая теория. Например, после того как была разработана теория поля, механика оказалась переосмыслена в свете новой концепции. Этот пример показывает, что новые теории не просто надстраиваются

²¹⁵ Бунге М. Философия физики. С. 279.

²¹⁶ Там же. С. 284.

над старыми. В процессе роста трансформируется и изменяется вся физика.

Любая теория требует для своей эмпирической проверки помощи некоторых других теорий. Эти вспомогательные теории играют роль при планировании эксперимента, при конструировании приборов и создании экспериментальной установки, при интерпретации полученных результатов. Таким образом, любой эксперимент требует наличия теорий двух типов: основной, или проверяемой, теории и вспомогательных теорий. Эти теории могут иметь совершенно непересекающиеся множества референтов, к примеру, оптика, электродинамика и механика используются для проверки теории относительности и квантовой механики именно в данном смысле, то есть как вспомогательные теории.

Эмпирическая проверка одной теории посредством другой в случае невозможности прямой проверки основной теории. Например, для проверки релятивистской термодинамики применяют релятивистскую статистическую механику, которая позволяет осуществить косвенную проверку. Возможна также теоретическая проверка теории. Концептуальная проверка устанавливает совместимость с логикой, математикой и хорошо установленными теориями, которые считаются истинными в первом приближении. К теоретической проверке относится и принцип соответствия, который означает, что новая более глубокая теория должна сохранить надежно установленные положения заменяемой теории.

Итак, соответствие новой теории существующим теориям является неоднозначным понятием. Однако, при всей своей спорности, оно существенно для демаркации науки и лженауки, поскольку часто лжеученые начинают с «опровержения» всей науки. Опираясь на вышеизложенное и на результаты предварительного тестирования научных теорий, будем оценивать наличие свойства *непротиворечивости новой теории по отношению к установленным теориям* положительно, если имеет место хотя бы один из следующих случаев.

1) Выполняется принцип соответствия. Законы новой теории в пределе должны переходить в законы существующих теорий.

2) Новая теория использует методы и законы существующих теорий. Например, Резерфорд использует представления механики Ньютона для построения планетарной модели атома.

3) Возможно осуществление хотя бы неполной редукции. При этом старая теория частично включена в новую в своей эмпирической или формальной части. Пример: модель атома Резерфорда легла в основу теории Бора.

3.6. Системность научной теории

Научная теория является дедуктивной системой предложений, включающей постулаты и неопределяемые базовые понятия, общие законы и частные следствия из них, получаемые по правилам логики исчисления предикатов. Такое понимание научной теории является распространенным среди методологов науки, однако оно не общепринято, поскольку многие естественно-научные теории оказывается трудно подвергнуть аксиоматизации. Хотя полную аксиоматизацию теории провести подчас невозможно, все же существует стандарт изложения содержания научной теории, который требует, чтобы теория была оформлена именно как дедуктивная система, т. е. чтобы исходные положения и основные понятия были зафиксированы. Такое построение научной теории необходимо для легкости ее понимания, а также позволяет судить о строгости, обоснованности и правильности выводов и основных положений.

Мы будем пользоваться наличием такого стандарта и считать, что дать оценку системности научной теории можно опираясь на тексты, излагающие содержание теории. Тогда «центральным ядром каждой физической теории является некоторая, резюмированная в ней, совокупность законов природы. Эти законы не внешне соплагаются друг с другом, а составляют определенную целостную структуру, в которой образующие ее элементы органически связаны и обуславливают друг друга. Именно благодаря этой целостности присущей ей системы законов каждая физическая теория предстает как нечто логически замкнутое»²¹⁷.

²¹⁷ Кузнецов И. В. Структура научной теории и структура ее объекта. С. 9.

Системность построения научной теории предполагает строго определенную логическую структуру текста, что делает теорию более простой для восприятия и понимания. Наиболее эффективным критерием системности является требование логической стройности, т. е. отсутствия вспомогательных *ad hoc* гипотез. Если все положения могут быть дедуцированы из множества постулатов, то теория системна. Однако теории часто являются логически незамкнутыми, так что некоторые предположения не выводятся из базовых положений, а принимаются на основе экспериментальных данных или заимствуются из других теорий.

Поскольку системность естественно-научной теории установить непросто, мы дадим негативное определение, то есть укажем на некоторые признаки нарушения системности научной теории. Такими признаками служат логические противоречия, а также ошибки в выводе следствий.

3.6.1. Логическая непротиворечивость теории

«В истории физики противоречия часты, и ученые преодолевали их почти всегда так же, как и Евклид, то есть обходили молчанием»²¹⁸, – пишет М. Льюэли. Логическая непротиворечивость существенна для наук, понятия которых достаточно строго определены и утверждения имеют однозначный смысл. Однако естественные науки не изолированы от мира, как математические теории. Физические понятия интерпретируются с помощью правил соответствия, связывающих понятия и законы с наблюдаемыми явлениями. «Такая интерпретация по необходимости неполна. Поскольку она всегда неполна, система остается открытой, чтобы сделать возможным добавление новых правил соответствия»²¹⁹. Добавление новых правил расширяет интерпретацию терминов, и каждая новая интерпретация не является окончательной. Для эмпирических наук логическое противоречие достаточно трудно обнаружить, но и достаточно легко исправить введением дополнительных предложений.

²¹⁸ Льюэли М. История физики. М.: Мир, 1970. С. 22.

²¹⁹ Карнап Р. Философия физики. С. 317.

Причиной нарушения системности научной теории часто являются ошибки, допущенные при выводе следствий. Эта проблема была проанализирована Е. Н. Кузьминым²²⁰, который подробно рассмотрел причины допущения ошибок при выводе следствий и при построении доказательства в математических теориях.

Рассуждая о причинах математических ошибок, Е. Н. Кузьмин выделяет следующие «основные типы ошибок:

- 1) использование неверного, некорректного рассуждения для доказательства правильного утверждения;
- 2) “доказательство” неверного результата; аргументы, используемые в таком “доказательстве” также, конечно, ошибочны;
- 3) искажение формулировки результата, полученного правильным ходом рассуждений (например, опущены предпосылки, существенным образом используемые в доказательстве, неверно выписаны итоговые формулы и т. д.);
- 4) наличие существенных пробелов в доказательстве, неполнота доказательства»²²¹.

Поскольку пробелы в доказательстве могут привести к ошибкам, следует, по возможности, стремиться к точному доказательству. Последнее не всегда возможно. «Д. Пойа учит, что правдоподобные рассуждения полезны на начальном этапе исследования, однако они ни в коем случае не заменяют строгого доказательства. Физики нередко удовлетворяются эвристическими рассуждениями, будучи вынуждены делать это из-за сложности рассматриваемых объектов и трудности математического обоснования»²²².

Итак, будем считать, что теория системна, если она представляет собой дедуктивную систему предложений, выведенную из основных положений в соответствии с логическими правилами вывода. Независимо от способа построения, теория содержит несколько недоказуемых предложений (постулатов), общие законы и утверждения, связанные с постулатами по правилам

²²⁰ Кузьмин Е. Н. О причинах математических ошибок // Методологические проблемы математики. Новосибирск: Наука, 1979. С. 76-82.

²²¹ Там же. С. 77.

²²² Там же. С. 78.

вывода, эмпирически проверяемые следствия. Теория не является системной, если в ее изложении присутствуют следующие виды нарушения системности.

1) Эклектика. Излагаемые идеи не связаны в единую смысловую схему, а представляют собой независимые смысловые части.

2) При выводе следствий из общих суждений привлекаются независимые дополнительные положения и гипотезы.

3) Существуют ошибки, допущенные при выводе следствий.

4) Теория логически противоречива

Итак, в третьей главе данной книге были рассмотрены основные точки зрения по спорным вопросам, касающимся понимания основных характеристик научной теории. В результате были даны определения, на основе которых мы продолжим разработку критерия демаркации науки и лженауки.

Глава 4. ПОСТРОЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАУЧНОСТИ

В предыдущей главе были даны определения основных характеристик научной теории. Следующая наша задача – построить критерий научности. Прежде всего, необходимо проверить необходимость и достаточность полученного набора существенных характеристик. Затем следует применить метод уточнения нечетких понятий к понятию научной теории. И наконец, последняя часть этой главы будет посвящена уточнению области применения полученного критерия.

4.1. Определение научной теории

Трудности построения критерия демаркации связаны с тем, что современные научные исследования проводятся в различных областях знания, кроме того, с течением времени в науке изменяются стандарты исследования. Наука преобразуется и как форма организации знания, и как вид социальной деятельности. Указанные факторы затрудняют или делают невозможным определение понятие «наука» четким и однозначным образом. Иначе говоря, понятие науки является понятием с нечеткими границами.

Основные типы определений научной теории

Определение научной теории изменяется не только вследствие развития науки, но и в зависимости от позиции исследователя. Несмотря на многообразие определений научной теории, их можно приблизительно классифицировать как определения, данные с позиции рационального, социального и деятельностного подходов.

С точки зрения первого подхода, наука является рациональной деятельностью ученых, а научная теория представляет собой дедуктивно построенную систему утверждений. Предполагается, что наука может быть разделена на две части: рациональную и эмпирическую. Рациональную часть составляет теоретическая деятельность ученых, включая разработку и выдвижение гипотез, а в эмпирическую часть входит экспериментальная деятельность, состоящая из планирования и проведения экспериментов, а также считывания данных. К числу авторов,

позиция которых может быть отнесена к рациональному подходу, принадлежат философы-позитивисты.

Согласно определениям, даваемым социологами, наукой считается то, что делают ученые²²³. Возможно, это верно в большинстве случаев, но такое определение не может быть использовано для построения критерия демаркации, так как ученые не только делают науку, а могут также выдвигать ошибочные теории или отстаивать намеренные фальсификации, от которых и требуется отличать научные теории. При социологическом подходе необходимо учитывать социальные факторы, влияющие на развитие науки; в данной работе мы принимаем их во внимание, вводя требование согласованности новой теории с предыдущими теориями, так как такое согласование подразумевает выполнение исторически сложившихся норм и стандартов научного исследования.

С точки зрения деятельностного подхода, «наука – это высокоспециализированная деятельность человека по выработке, систематизации и проверке знаний»²²⁴. Однако в силу специфики нашей задачи, мы должны принимать во внимание не саму деятельность, а ее результаты – научные теории. Не отрицая важности процесса производства знания, мы вынуждены констатировать недостаточность такого рассмотрения для наших целей, поскольку ученые могут ошибаться и далеко не все разрабатываемые ими концепции впоследствии приобретают статус научных.

Таким образом, не умаляя достоинств определений научной теории, данных с позиции социального и деятельностного подходов, мы вынуждены признать их недостаточными для решения проблемы демаркации научных и ненаучных теорий. Следовательно, нам остается придерживаться определений научной теории, данных с позиции рационального подхода, привержен-

²²³ Одно из таких определений было введено Т. Куном в книге «Структура научных революций». Он определял научную деятельность как следование некоторой парадигме: «Парадигма это то, что объединяет членов научного сообщества, и, наоборот, научное сообщество состоит из людей, признающих парадигму». *Кун Т.* Дополнение 1969 года // Структура научных революций. М.: Изд-во АСТ, 2001. С. 226.

²²⁴ *Канке В. А.* Основные философские направления и концепции науки. Итоги XX столетия. М.: Логос, 2000. С. 156.

цы которого считают, что научная теория представляет собой «дедуктивную систему положений».

Научная теория как система утверждений

Предполагая, что определение с позиции рационального подхода отражает основные существенные черты научной теории, мы примем одно из таких определений в качестве рабочего. Видимо, наиболее продуманными и полными являются формулировки, приведенные в толковых словарях. Поэтому мы возьмем одно из таких определений научной теории.

Научная теория – это система обобщенного достоверного знания об определенном фрагменте действительности, которая описывает, объясняет и предсказывает функционирование определенной совокупности составляющих его объектов.

Прежде чем использовать это определение для решения проблемы демаркации научных и ненаучных теорий, требуется убедиться в его полноте и правильности. Неполнота определения означает, что существуют научные теории, которые не охватываются им. Если же под это определение попадают и ненаучные построения, то оно неправильно. Мы не можем установить полноту и правильность определения эмпирически, так как, во-первых, потребуется полный перебор случаев и, во-вторых, наше определение слишком абстрактно, поскольку включает абстрактные термины, например понятие «система». Но мы попытаемся установить, не упущено ли какое-нибудь существенное свойство и не содержит ли определение лишних, не свойственных науке характеристик.

На первый взгляд, в этом определении пропущены такие свойства, как требование эмпирической проверяемости, соответствия фактам и установившимся теориям. Однако наличие эмпирической проверяемости следует из того, что научная теория представляет собой «достоверное знание об определенном фрагменте действительности». Достоверность знания требует, во-первых, эмпирической адекватности теории, а, во-вторых, соответствия теории эмпирическому содержанию предыдущих хорошо проверенных теорий.

Что касается полноты определения, то следует заметить следующее: имея понятие научной теории, нельзя составить полное представление о том, что такое наука, так как в состав науки

входят и другие структурные образования, например, законы, модели, идеи, правила измерений, эксперименты, факты. Но поскольку на право называться научными претендуют, как правило, именно теории, то мы в нашем рассмотрении ограничимся только проблемой демаркации теорий.

Тем не менее приведенное выше определение научной теории достаточно для решения нашей задачи. Единственный его недостаток – абстрактность. В таком виде оно не годится для применения на практике с целью установления научности теорий. Поэтому мы уточним характеристики, приведенные в определении, чтобы они были проверяемыми. При этом возникают следующие проблемы:

Во-первых, научные теории разнообразны, и для каждой характеристики найдется набор научных теорий, которые ей не удовлетворяют. То есть при уточнении определения, а значит, при сужении области его приложения, может «потеряться» часть научных теорий. Эта проблема решается с помощью правила семейных сходств, лежащего в основе критерия.

Во-вторых, встает вопрос об обоснованности нашего подхода. Действительно, мы дедуцируем из общего определения некоторые частные следствия, которые и собираемся проверять. Однако по правилам логики из истинности следствий не следует истинность посылки. В общем случае частные следствия позволяют только фальсифицировать посылку:

Если A то B ;

B ложно;

Следовательно, A ложно.

Если следствия истинны, то об истинности посылки ничего сказать нельзя. Мы собираемся осуществлять проверку по неверной в общем случае форме условно-категорического умозаключения:

Если A , то B ;

B истинно;

Следовательно, A истинно.

Данная форма является правомерной только в одном частном случае: когда B является следствием A и только A . Это так называемый случай выделяющей посылки. При таком условии мы строим импликацию «если A , то B », но B теперь отрывается от посылки и из следствия превращается в критерий, который (если он выполняется), подтверждает A .

Иными словами, требуется обосновать необходимость и достаточность набора следствий, который будет использоваться для характеристики научности теории.

4.2. Доказательство необходимости и достаточности набора характеристик для установления научности теории

Основная задача данного параграфа – показать, что приведенное выше определение научной теории эквивалентно набору характеристик, выявленному в результате исторического анализа во второй главе данной книги. Доказательство эквивалентности набора характеристик определению в данном случае будет означать демонстрацию необходимости и достаточности полученного набора характеристик для установления научности теории или, что то же самое, что набор характеристик может служить критерием научности теории.

Необходимость

Для установления научности теории мы предлагаем использовать следующий набор признаков:

эмпирическая проверяемость следствий теории;

соответствие фактам из области применимости теории;

предсказательная сила теории;

объяснительная сила теории;

непротиворечивость по отношению к установившимся научным теориям;

системность.

Необходимость этого набора следует прямо из принятого выше определения научной теории. В самом деле, пусть проверяемая теория – научная. Тогда, по определению, она является *системой обобщенного достоверного знания о том или ином фрагменте действительности*. Отсюда сразу следует системность теории, т. е. особая форма организации ее положений, которые связаны между собой отношениями по правилам логики.

Достоверность теории может обеспечиваться логически путем дедуктивного вывода из более общей теории, что происходит, когда разрабатывается теория, включающая существующие теории как предельный случай по принципу соответствия. Поскольку установившиеся научные теории выдержали проверку множеством экспериментов, то новая теория не должна им противоречить. Однако подтверждение эмпирической теории и достоверность ее положений для определенного фрагмента действительности возможны только путем верификации набора следствий. Отсюда следуют свойства эмпирической проверяемости теории, т. е. возможности фальсифицировать или верифицировать ее следствия, а так же соответствие фактам в данной области реальности. Следует заметить, что подтверждаемость теории через эмпирическую проверку осуществляется с помощью верификации такого набора следствий, который является уникальным и характеризует только эту теорию. Отсюда видна невозможность подтверждения теории верификацией отдельно взятых положений, как этого требовал логический позитивизм: отдельно взятое предложение может быть следствием различных посылок. Поэтому чем большему числу фактов соответствует теория, тем вероятнее уникальность такого набора следствий. Поскольку теория описывает, объясняет и предсказывает функционирование определенной совокупности объектов, то отсюда с необходимостью следует наличие объяснительной и предсказательной силы теории.

Достаточность

Чтобы обосновать достаточность приведенного выше набора свойств для установления научности теории, нам требуется показать, что этот набор свойств характеризует именно научную теорию и ничего больше. Достаточность можно было бы доказать, построив вывод из более общих положений по правилам логики. Однако в нашем случае этого сделать нельзя, так как нет строгой аксиоматически построенной теории научных теорий, из которой можно было бы вывести и само определение, и набор свойств. Следовательно, мы не можем обосновать дедуктивным методом достаточность указанного набора свойств. Доказывая по индукции, мы должны сделать полный перебор всех случаев, так как неполная индукция недостоверна. В на-

шем случае полный перебор тоже невозможен. Однако мы решаем конкретную задачу: осуществить демаркацию науки и лженауки. Поэтому нам достаточно показать, что набор свойств позволяет отличить научную теорию, во-первых, от других способов представления научного знания и, во-вторых, от лженаучных построений.

Покажем, что предложенный нами набор свойств позволяет отличить научную теорию от других видов научного знания – гипотез, законов, моделей. Этот набор достаточен для демаркации между научной теорией и научной *гипотезой* потому, что гипотезы носят предположительный характер и их истинность является недоказанной. Следовательно, гипотеза может не соответствовать фактам и не иметь предсказательной силы. В том случае, если гипотеза была выдвинута для объяснения группы фактов, с чем не справляются существующие теории, то она может противоречить данным теориям. В том случае, если гипотеза представляет собой некоторое отдельное предложение, она не будет образовывать систему.

Законом называется отношение, фиксирующее постоянную связь между явлениями, свойствами, объектами. При изучении новых явлений отношения между ними могут быть выражены в виде частного закона, который не является частью какой-либо из существующих теорий. Закон выдвигается для описания связи между изучаемыми объектами и свойствами или характеристиками этих объектов, следовательно, закон является эмпирически проверяемым. Если закон верен, то он соответствует фактам. Закон обладает объяснительной силой, если объяснение понимать как установление связи между явлениями. Однако закон не представляет собой систему, не обладает сам по себе предсказательной силой, под которой мы понимаем предсказание принципиально новых классов явлений. До тех пор пока частный закон не оказывается включенным в более общую теорию, бессмысленно говорить о соответствии установившимся теориям, поскольку этот закон описывает новый класс явлений, который не является объектом рассмотрения ни для одной из существующих теорий.

Моделью называют символический аналог изучаемого объекта, который отображает структуру объекта и обеспечивает на-

глядность представлений. Модель обладает системностью, поскольку помогает связать и упорядочить свойства оригинального объекта и явления, с ним связанные. Она обладает объяснительной силой и позволяет, исходя из свойств модели, предсказывать новые свойства или явления. Однако сама по себе модель, являясь символом или знаком объекта, не может быть объектом эмпирических проверок. Для установления адекватности модели эмпирическому объекту должны привлекаться правила соответствия и законы, которые отражают связь между свойствами и частями модели и могут быть предметом эмпирических проверок. Кроме того, модель описывает некоторый узкий класс явлений, а теория приложима для многих явлений. Распространить закономерности, выявленные для модели, можно при помощи законов, которые имеют более общий характер, чем модель. Модель может как разрабатываться в рамках существующей теории (например, модель атома Зоммерфельда), так и использовать представления, вводимые существующими теориями (например, модель идеального газа использовала представления механики Ньютона). В обоих случаях модель должна находиться в соответствии с некоторой существующей теорией.

Можно считать, что модель, обеспечивающая наглядность представлений и позволяющая систематизировать понятия, объединившись с законами, дающими возможность оценить ее адекватность, образует теорию.

Теперь покажем, что предлагаемый нами набор свойств достаточен для проведения демаркации между научными и лженаучными теориями. Лженаучные теории часто бывают непроверяемыми, иначе говоря, их предложения имеют форму, в которой они не могут быть ни верифицированы, ни фальсифицированы. Если же они имеют проверяемые следствия, тогда эксперименты, воспроизведенные независимыми группами исследователей, фальсифицируют положения лженаучной теории. Так как эти теории ложные, то они не имеют предсказательной силы. Они противоречат положениям науки, т. е. не соответствуют установившимся научным теориям. Большинство из них непоследовательны при выводе следствий, поэтому они не системны. Надо заметить, что большинство лженаучных теорий обладают объяснительной силой.

Итак, в данном параграфе была доказана необходимость и достаточность приведенного набора свойств для демаркации научных и лженаучных теорий. Однако все перечисленные свойства могут не встречаться у научной теории одновременно. Чтобы установить объем данного понятия, то есть решить является ли данная теория научной или нет, мы должны воспользоваться методом семейного сходства. Перейдем к построению критерия демаркации научных и ненаучных теорий.

4.3. Применение метода уточнения нечетких понятий к понятию научной теории

Проблема различения науки и лженауки в момент появления новой теории является весьма сложной. В настоящее время существует множество лженаучных концепций, причем некоторые из них пытаются выдать себя за научные. Особенно сложно отличить от научных теорий те положения, которые отстаиваются самими учеными и являются либо заблуждением, либо намеренной фальсификацией. Требуется некоторое правило, позволяющее отделить научную концепцию от ненаучной. Однако все попытки найти точный формальный критерий до сих пор оставались неудовлетворительными. Новая теория может не обладать всеми признаками, характерными для зрелой науки. Например, она может не соответствовать всем известным фактам, может противоречить в некоторых аспектах устоявшимся теориям, не предсказала еще ни одного нового факта. Поэтому она не обязана обладать всеми перечисленными свойствами. Для решения проблемы демаркации науки и ненауки мы используем метод уточнения нечетких понятий.

Напомним, что упомянутый метод заключается в установлении того факта, что теория, претендующая на звание научной, должна обладать неким набором свойств или отношений. Чтобы использовать критерий, построенный с применением правила семейных сходств для нечетких понятий, нужно будет проверить наличие у сомнительной теории установленного выше набора свойств: эмпирической проверяемости, соответствия фактам, предсказательной и объяснительной силы, соответствия установившимся научным теориям и системности. Рассмотрим приложение метода уточнения нечетких понятий, позволяющее оценить научность выдви-

гаемой теории. Чтобы сформулировать критерий научности требуется применить разработанный во второй главе метод уточнения нечетких понятий и уточнить вид и состав множества предикатов, опираясь на определения существенных характеристик научной теории, приведенные в третьей главе данной книги.

На основе точек зрения, высказанных философами и учеными, а также на основе предварительного анализа научных теорий неформально были сформулированы определения существенных характеристик. Основная задача в этом пункте – дать некую формальную запись этих определений. Предварительно условимся о некоторых обозначениях. Проверяемую на научность теорию обозначим через T . Предикат $N(T)$ имеет значение «1» (или «истина»), если теория T научна. Рассмотрим последовательно имеющиеся определения существенных характеристик.

Эмпирическая проверяемость

Требование эмпирической проверяемости для следствий теории важно при определении ее статуса. Теория содержит предположения о причинах явлений (объяснительная часть) и о связях явлений (описательная часть). Предположения, входящие в объяснительную часть, не могут быть установлены непосредственно из опыта. Теория содержит также предположения о существовании, которые в принципе не могут быть опровергнуты опытом, поскольку существование не является предикатом. Тем не менее научная теория, в отличие от умозрительной метафизической концепции, должна иметь и проверяемую часть, т. е. множество эмпирически проверяемых следствий. В этом случае проверка теории производится путем сопоставления выводимых из теории следствий с фактами. Возможность вывести проверяемые следствия позволяют перейти от предположений к наблюдаемым явлениям.

Впрочем, научная концепция может оказаться эмпирически непроверяемой. Поэтому следует различать невозможность проверки теории, которая обусловлена несовершенством экспериментальной техники, и принципиальную ненаблюдаемость, когда наблюдаемые следствия не могут быть выведены в принципе. Теориям, из которых невозможно вывести проверяемые

следствия, следует отказать в научности. Требование принципиальной проверяемости защищает науку от введения в нее не проявляющихся сущностей, своего рода «вещей в себе».

Требование выводимости наблюдаемых следствий можно записать в виде:

$P_1 = [T \text{ а } A]$, где A – предложение наблюдения.

Соответствие фактам

Напомним, что теория соответствует *известным фактам* в своей области приложения, если все проверяемые следствия теории совпадают с данными измерений в пределах ошибки измерений для любых эмпирических законов и всех известных фактов, которые воспроизводятся всеми независимыми исследователями. Если обозначить через A_i предложение, представляющее собой отчет о наблюдении явления, то это условие соответствия теории фактам запишется следующим образом: $P_2 = T \wedge A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n \Rightarrow B \wedge \neg B$, где T – набор утверждений теории, а B некоторое утверждение.

Однако это требование не может быть необходимым, так как бывают случаи, когда интерпретация фактов должна быть пересмотрена под влиянием теории, и в результате факты могут быть отвергнуты. Например, волновая теория света Френеля противоречила очевидному, казалось бы, факту. Если между экраном и точечным источником света поместить непрозрачный диск, то на экран отбрасывается тень в форме круга. Из волновой теории Френеля следовало, что в центре тени должно быть небольшое светлое пятно. Более тщательные эксперименты показали, что в центре тени действительно образуется светлое пятно, так что отброшенной оказалась не новая теория, а казавшийся достоверным факт.

Объяснительная и предсказательная сила

Объяснительная сила теории позволяет приложить теорию к возможно более широкому кругу явлений. Это требование ограничивает доступ в науку гипотезам *ad hoc*. Теория, первоначально выдвинутая для объяснения некоторого явления, должна быть способна объяснить и более широкий класс явлений. Если теория придумывается для объяснения только конкретного

опытного факта и не ведет ни к каким другим следствиям, то она носит характер теории *ad hoc*. Подлинно научная теория выходит за пределы узкой области явлений, позволяет предсказывать новые явления, соотношения и законы. Это требование также не может быть абсолютизировано, так как могут выдвигаться теории и об уникальных явлениях, например о движениях комет. Для $\forall f : f \in O$, где f – факт из области приложения теории O , должно существовать утверждение $A(f)$, выводимое из теории $T \Rightarrow A(f)$. То есть, $P_3 = \forall f : f \in O, T \Rightarrow A(f)$.

Предсказательная сила теории делает ее плодотворной с точки зрения открытия новых явлений. Она должна позволять устанавливать еще не открытые факты и соотношения. Если обозначить через $A'(f)$ утверждение об еще неустановленном факте, то требование наличия у теории предсказательной силы запишется в виде: $P_4 = \exists f : f \in O, T \Rightarrow A'(f)$.

Непротиворечивость новой теории по отношению к установленным теориям

Научная теория является частью системы развивающегося научного знания, поэтому она должна быть согласована с основными известными законами, теориями и т. п. Эвристический смысл этого требования заключается в том, что соответствие с существующими теориями делает возможной эмпирическую проверку выдвигаемой теории, поскольку при создании экспериментальной установки и средств наблюдения используются многие более ранние теории.

Напомним, что наличие свойства *непротиворечивости новой теории установленным теориям* будет оцениваться положительно, если имеет место хотя бы один из следующих случаев.

А) Выполняется принцип соответствия. Законы новой теории $L(x)$, где x – некоторая переменная, в пределе должны переходить в законы существующих теорий: $\lim_{x \rightarrow a} L(x) = L'(x)$.

В) Новая теория использует методы и законы существующих теорий: $L'(x) \subset T$.

С) Возможно осуществление хотя бы неполной редукции. При этом старая теория частично включена в новую в своей эм-

пирической или формальной части.

$$\exists t_1, t_2, \dots, t_k : t_1, t_2, \dots, t_k \subset T \wedge t_1, t_2, \dots, t_k \subset T'.$$

Предикат непротиворечивости новой теории T существующим теориям запишется просто как объединение перечисленных случаев.

$$P_5 = (\lim_{x \rightarrow a} L(x) = L'(x)) \vee (L'(x) \subset T) \vee (\exists t_1, t_2, \dots, t_k : t_1, t_2, \dots, t_k \subset T \wedge t_1, t_2, \dots, t_k \subset T')$$

Требование непротиворечивости новой теории по отношению к установленным теориям не является необходимым, так как вновь выдвигаемые теории могут прийти в противоречие с ранее существовавшими научными положениями. Это происходит достаточно часто, а смена теорий обеспечивает прогресс науки.

Системность теории

Требование системности теории предписывает установление связи между явлениями и наиболее общими законами, позволяя, таким образом, объяснять как можно большее число явлений через как можно меньшее число причин. Это требование отражает убеждение ученых в существовании некоторой единой объективной структуры мира. Определение системности научной теории, приведенное в предыдущей главе, предполагает, что теория является множеством предложений, связанных друг с другом по правилам вывода. Но, чтобы установить системность теории в соответствии с таким определением, требуется провести аксиоматизацию теории, что является трудоемкой процедурой и не всегда возможно. Поэтому в третьей главе было дано отрицательное определение для случаев, когда «теория не является системной», поскольку нарушения системности выявить намного проще. Нарушения системности можно объединить, в основном, в два типа: эклектичность и логическая противоречивость. Эклектичность предполагает наличие логически независимых частей теории, а противоречивость указывает на возможность выведения как утверждения, так и его отрицания.

Если обозначить через t_i логически независимое от остальных предложений утверждение теории T , то условие эклектичности запишется в виде: $\exists t_i \subset T : T \supset t_1, \dots, t_{i-1}, t_{i+1}, \dots, t_k \not\supset t_i$. Противоречивость теории, понимаемая как возможность выведения одновременно и утверждения B , и его отрицания $\neg B$,

запишется в виде: $T \Rightarrow B \wedge \neg B$. Теория системна, если оба условия не выполняются:

$$P_6 = \neg(\exists t_i \subset T : T \supset t_1, \dots, t_{i-1}, t_{i+1}, \dots, t_k \not\Rightarrow t_i) \wedge \neg(T \Rightarrow B \wedge \neg B).$$

Возможно, что ни одна из проверяемых научных гипотез не будет обладать всеми перечисленными качествами одновременно. Также возможно, что существуют лженаучные теории, которые могут обладать частью перечисленных свойств. Поэтому потребуется задать какой-то допустимый минимум m количества свойств. Чтобы численно определить это значение, требуется своего рода «калибровка» критерия, т. е. испытание его на тестовых примерах. В качестве таких примеров могут служить теории, научность которых в настоящее время доподлинно установлена. Определение значения этого числа m зависит, в частности, от общего количества характеристик, выбранных для проверки. Причем, чем ближе это число к общему количеству характеристик, тем более жестким является критерий.

Задание значений весов для характеристик b_i зависит от конкретной области применения. Например, если критерий применяется для оценки исторических гипотез, то требование объяснения как можно более широкого круга явлений становится несущественным, так как историческая наука имеет дело с конкретными событиями, и поэтому соответствующему коэффициенту b_i может быть приписан малый вес.

Равенство всех коэффициентов единице делает проверяемые свойства одинаково важными. В случае, если введение весов b_i желательно, то их требуется вычислить при испытании на тестовых примерах. Однако вычисление данных коэффициентов налагает особые, достаточно жесткие требования на объем выборки. А именно, требуется рассмотрение как можно большего числа гипотез, причем особенно важно, чтобы в рассмотрение входили и «нестандартные» ситуации – теории, которые в момент своего возникновения вызвали множество споров и были приняты только после длительных проверок. В идеальном случае (он может оказаться нереализуемым) требуется рассмотрение всех теорий, которые были признаны научными в данной области науки.

Как показало предварительное исследование, научные теории обладают намного большим числом существенных характеристик, чем ненаучные. Поэтому для решения поставленной задачи будет достаточным, если мы найдем только минимальное число характеристик, которым обязана соответствовать научная теория, и не станем определять степени значимости свойств.

Для того чтобы практически применять данный критерий, сначала нужно найти константу, ограничивающую снизу необходимое количество свойств. Поэтому требуется тестирование критерия на некотором количестве примеров. При такой проверке следует обращать внимание на то, что требования к научным теориям могут быть различными в разное время, поэтому желательно опробовать критерий на тех примерах, к которым предъявляются требования, аналогичные современным. Последняя, пятая глава данной книги посвящена именно тестированию критерия с целью определения константы m .

Итак, в четвертой главе мы, опираясь на метод уточнения нечетких понятий, разработали критерий демаркации научных и ненаучных теорий. Этот критерий заключается в оценке статуса теории на основе проверки наличия у тестируемой концепции определенного набора существенных характеристик. Далее предстоит определить минимальное число характеристик, которыми должна обладать теория, чтобы получить статус «научной».

Глава 5. ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАУЧНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ)

Наша задача в этой главе – определить минимальное количество характеристик научной теории, которое в первом приближении позволяет заключить, что проверяемая теория является научной. Для решения данной задачи мы проведем своего рода калибровку критерия, т. е. рассмотрим целый ряд теорий, научность которых в настоящее время никем не оспаривается. В результате будет определено минимально необходимое число характеристик, достаточное для квалификации концепции как научной, что позволит применять разработанный критерий к современным концепциям, статус которых неочевиден, и делать выводы об их научности.

Наш анализ относится к периоду становления теорий, т. е. ко времени, когда производилась проверка и подтверждение соответствующих гипотез. Рассматриваемые теории должны удовлетворять следующим требованиям. Во-первых, они должны быть в настоящее время признаны научными. Во-вторых, для того чтобы критерий мог быть применен для определения научности современных гипотез, калибровочные теории должны выбираться так, чтобы стандарты научности и рациональности были близки к ныне существующим. В-третьих, теории следует выбирать из той же области науки, в которой критерий будет применяться в дальнейшем (или в области с близкими требованиями). И наконец, важно, чтобы анализу подвергались теории, которые в свое время были спорными по какой-либо причине, но в дальнейшем подтвердили свою научность.

5.1. Калибровка критерия

В данном параграфе мы рассмотрим ряд теорий, научный статус которых не подвергается сомнению в настоящее время. Требуется получить ответ на вопрос: обладали ли эти теории в период становления выделенными нами существенными характеристиками или нет?

Ниже в виде таблиц представлены результаты тестирования научных теорий. Знак «+» означает наличие, а знак «-» отсутствие данной характеристики у научной теории в период ее становления. В таблице приведены также краткие комментарии, в которых поясняется, на каком основании принималось решение о присутствии или отсутствии данной характеристики.

В следующем пункте будет осуществлен подробный разбор всех приведенных в таблице теорий, со ссылками на труды ученых и историков науки.

Таблица 1. Оптика

Название	Волновая теория дифракции	Волновая теория поляризации
Автор	Френель	Френель
Период становления	1818 г. Мемуары, представленные Парижской Академии наук.	1821 г. «Мемуар о двояком преломлении».
Эмпирическая проверяемость	+	+
Соответствие известным фактам	- Из теории выводились следствия, противоречащие «здоровому смыслу»: посреди тени от непрозрачного диска должно быть светлое пятно.	+
Объяснительная сила теории	+ Объяснено прямолинейное распространение света при волновой природе.	+Объяснено явление интерференции лучей, поляризованных в параллельных плоскостях; явление частичного отражения, преломление света, дисперсия.
Предсказательная сила теории	+ Расчет отклонения света за препятствием при явлении дифракции совпал с экспериментальными данными.	+
Непротиворечивость устоявшимся теориям.	+ Объединяет ряд принципов: 1) принцип элементарных волн; 2) принцип огибающей Гюйгенса (1678 г.); 3) принцип интерференции Юнга (1802 г.).	- Гипотеза поперечных световых волн противоречила представлениям о свойствах эфира.
Системность	+	+

Таблица 2. Электромагнетизм

Название	Электродинамика	Электромагнитная теория Максвелла	Электродинамика Лоренц
Автор	Ампер	Максвелл	Лоренц
Период становления	1820–1821 гг. Доклады Парижской Академии наук, демонстрации опытов. 1827 г. «О математической теории электродинамических явлений, однозначно выведенной из опыта».	1861–1862 гг. «О физических линиях силы». 1873 «Трактат по электричеству и магнетизму». 1887–1888 гг. Опыты Герца, подтверждающие теорию Максвелла.	1895 г. «Опыт теории электрических и оптических явлений в движущихся телах» 1902–1903 гг. Эксперименты Бресса, Релея, Трутона, Нобиля 1904 «Электромагнитные явления в системе, движущейся с любой скоростью, меньшей скорости света»
Эмпирическая проверяемость	+	+	-
	Ампер установил количественный закон взаимодействия токов; все величины, входящие в него, были непосредственно наблюдаемы.	Теория Максвелла была эмпирически проверяемой и получила экспериментальное подтверждение благодаря экспериментам Герца и Риги.	Содержит предположение о сокращении в направлении движения, что принципиально не наблюдаемо.
Согласована с известными фактами	+	+	+
	1) 1820 г. Опыт Араго. Намагничивание опилок. 2) 1820 г. Опыт Эстереда отклонения магнитной стрелки. Соответствует эмпирическим законам: 1-й закон Лоренца, закон Био-Савара, закон Кулона.	Согласована с опытами Фарадея по поляризации диэлектриков. Открытие диамагнетиков. 1845 г. Электромагнитная индукция. Технические приложения: телеграф, генераторы тока Кромвелля и Варли 1866 г.; электродвигатели (с 1834 г.).	1) 1851 г. Физо. Измерение скорости света в движущейся жидкости. 2) 1871 г. Эйри. Аберрационный эффект 3) 1877 г. Роуланд. Магнитное действие вращающегося заряженного диска. 4) 1887 г. Майкельсон. Увлечение эфира.

Объяснительная сила теории	+	+	+
	Ампер выдвинул оригинальную идею о круговых токах в магните, наличие которых объясняло все явления электромагнетизма.	Объясняет явления, связанные с диэлектриками. Устанавливает связь между светом и электромагнитными явлениями. Герц в 1884 г. применил теорию для объяснения колебательного заряда.	Объясняет явления электромагнитной индукции, аберрации, отражения и преломления света. Объясняет отрицательный результат опыта Майкельсона.
Предсказательная сила теории	+	+	+
	1) Намагничивание стального бруска внутри спирали с током. 2) Опыт Фарадея 1821 г. вращение токов в магнитном поле 3) Опыт Ампера 1822 г. Отталкивание проводников	1) 1899 г. Лебедев. Давление света. 2) 1887-1888 г., Герц. 1893 г. Риги. Воспроизвели явления, доказывающие электромагнитную теорию света: интерференцию, отражение, преломление волн.	1901–1904 г. Эйхенвальд Эксперимент, в котором исследовалось движение диэлектрика в неоднородном электрическом поле.
Непротиворечивость устоявшимся теориям.	-	+	+
	Теория, рассматривавшая магнит как совокупности круговых токов, казалась слишком смелой и не соответствовала представлениям того времени.	Максвелл осуществил объединение оптических и электромагнитных явлений.	Теория Максвелла. Из пяти уравнений Лоренца выводятся все другие известные законы электромагнетизма. Оптика Френеля.
Системность	+	-	-
	Максвелл охарактеризовал работу Ампера как «совершенную по форме» и по точности».	Теория содержит много логических натяжек при выводе следствий.	Лоренц вводит большое количество независимых гипотез.

Таблица 3. Механика

Название	Механика	СТО	ОТО
Автор	Ньютон	Эйнштейн	Эйнштейн
Период становления	1687 г. «Математические начала натуральной философии».	1905 г. «К электродинамике движущих тел». Первая четверть XX в.	1916 г. «Основы общей теории относительности». Эмпирически подтверждена фактами смещения перигелия Меркурия, отклонения луча света (1919), красного смещения (1925).
Эмпирическая проверяемость	- Абсолютное пространство и время, эфир.	+	+
Соответствие Известным фактам	+ Соответствовала астрономическим данным.	+ 1) 1849 г. Опыт Физо. 2) 1881–1904 гг. Опыт Майкельсона. 3) 1902 г. Кауфман. Зависимость времени жизни частиц от их скорости.	+ 1) 1804 г. Зольднер Отклонение луча света звезды вблизи Солнца. 2) 1916 г. Шварцшильд. Смещение перигелия Меркурия.
Объяснительная сила теории	+ Объясняла приливы и отливы. Законы Кеплера.	+ Дала объяснение опыту Майкельсона, эффекту Доплера, формуле сложения скоростей.	+ Объяснила особенности движения Меркурия.
Предсказательная сила теории	+ Предсказаны новые законы в механике жидкости и газа.	+ Увеличение времени жизни нестабильных частиц при больших скоростях.	+ 1) 1919 г., 1922 г. Отклонение луча света звезды вблизи Солнца. 2) 1925 г. Адамс. Красное смещение. 3) 1964 г. Эффект Доплера.
Непротиворечивость установленных теориям	+ Соответствовала законам Кеплера, Галилея.	+ Соответствует классической механике при скоростях, намного меньших скорости света.	+ Является расширением СТО.
Системность	+	+	+

5.2. Пояснения к таблицам

5.2.1. Механика Ньютона

Первые исследования по теоретической механике Ньютон проводил еще в 1665–1667-е гг.

В 1684 г. проблема теоретического обоснования эмпирически полученных законов Кеплера стала одной из центральных для английских ученых. В августе 1684 г. доктор Галлей посетил Ньютона и спросил его, какой, по его мнению, должна быть кривая, которую описывает планета вокруг Солнца, в предположении, что сила притяжения к Солнцу обратно пропорциональна квадрату расстояния. Ньютон ответил, что по его расчетам орбита должна быть эллипсом. В ноябре того же года он прислал Галлею трактат «О движении тел по орбите». Галлей понял значение данной работы и стал убеждать Ньютона послать свое исследование в Королевское общество, но тот решил сначала дополнить свою работу и расширить ее. Это исследование вошло в книгу «Математические начала натуральной философии», которая была напечатана 5 июля 1687 г.

Эмпирическая проверяемость теории

Ньютон являлся блестящим экспериментатором и ставил опыты для проверки своих предположений. Однако в теории Ньютона присутствует три термина, существование которых не было установлено эмпирически: абсолютное пространство, абсолютное время, эфир.

Абсолютное пространство и абсолютное время существуют независимо от чего-либо, безотносительно к чему-либо, они недоступны нашим чувствам. Сам Ньютон считал, что «существование абсолютного пространства обнаруживается в опытах с вращательным движением»²²⁵. Абсолютное пространство Ньютон полагал однородным и неподвижным. Подтверждение этой идеи он фактически находил только в абсолютности ускорения. Это означало, по его мнению, что можно говорить об ускорении относительно абсолютного неподвижного пространства.

²²⁵ Кирсанов В. С. Научная революция XVII века. М.: Наука, 1987. С. 317.

Абсолютное время символизирует установленный порядок событий и определяет последовательность и направление событий. Э. Мах считал, что «абсолютное время не может быть измерено никаким движением и поэтому не имеет никакого ни практического, ни научного значения, никто не вправе сказать, что он что-нибудь о таком времени знает, это праздное "метафизическое" понятие»²²⁶.

Определение роли понятий абсолютного пространства и времени является непростой задачей, и разные исследователи приходят к различным выводам. Например, М. Фридман²²⁷ считает, что понятие абсолютного пространства было введено Ньютоном под влиянием философии, а роль данного понятия – обеспечить возможность восприятия относительного пространства. Сейль указывает, что Ньютон рассматривает абсолютное пространство как фундаментальную структуру, которая делает возможным относительное движение в относительном пространстве²²⁸. Абсолютность пространства и времени также обосновывает применимость масштабов и часов, имеющих в одной системе отсчета, к любой другой точке пространства и времени.

Понятие эфира Ньютон ввел в «Общем поучении», которого не было в первом издании «Начал». Этот раздел завершается гипотезой о существовании эфира, который оказывается причиной разнообразных явлений природы. В частности, эфир становится причиной сил, действующих между телами. Ньютон считал, что эфир состоит из частиц и может быть охарактеризован как «разреженный, тонкий, эластичный». Благодаря своей тонкости он может проникать сквозь пространство, благодаря разреженности – не оказывать сопротивления материальному движению. Эфир способен изменять плотность, он более разрежен в порах тел, чем в пространстве между ними. Этим объясняется движение тел друг к другу – из более плотной в более разре-

²²⁶ Мах Э. Механика. Историко-критический очерк ее развития. Ижевск: Ред. Жур. «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. С. 191.

²²⁷ Friedman M. Kant and Newton: Why Gravity Is Essential to Matter // *Philosophical Perspectives on Newtonian Science* / Ed. by P. Bricker and R. I. G. Hughes. L.: MIT Press Cambridge, 1990. P. 185–202.

²²⁸ Salle R. The “Essential Properties” of Matter, Space, and Time: Comments on Michael Friedman // *Philosophical Perspectives on Newtonian Science* / Ed. by P. Bricker and R. I. G. Hughes. L.: MIT Press Cambridge, 1990. P. 204.

женную среду. Материя не способна действовать через пространство, а эфир по своему определению может действовать на расстоянии. Эфир проявляется через свои действия: «силы отталкивания, существующие между частицами эфира, не только по своему характеру отличаются от притягивающих сил дального действия, но и находятся в существенно ином отношении с материей. Они не пропорциональны общему количеству вещества, а наоборот, тем больше, чем меньше частица»²²⁹. При этом Ньютон отмечает, что нет достаточного запаса опытов, коими законы действия эфира были бы точно определены.

Таким образом, в теории Ньютона существование эфира косвенно обосновывалось, абсолютное пространство проявлялось в опытах с вращательным движением, но понятие абсолютного времени оказывалось метафизическим, не имеющим денотата.

Соответствие новой теории известным фактам

Основной задачей механики Ньютона являлось обоснование известных в то время эмпирических законов. Ньютон доказывал, что если тело движется в поле центральной силы, подчиняющейся закону обратных квадратов, то его орбитой будет эллипс, парабола или гипербола. Экспериментальным подтверждением данного утверждения служит первый закон Кеплера.

Для иллюстрации положения о том, что ускорение тел на Земле не зависит от их веса, формы и материала, Ньютон использует опыты с маятниками. Эти опыты заключаются в сравнении периодов колебаний, которые оказываются равными для одинаковых по длине маятников, независимо от характеристик груза.

Расчеты Ньютона соответствовали также данным астрономических наблюдений. Ньютонское учение «давало общую схему для решения любых конкретных задач механики, физики и астрономии»²³⁰.

Объяснительная сила

В третьей книге «Начал» Ньютон перечисляет «явления», т. е. экспериментальные факты, которые должны быть теоретически объяснены:

²²⁹ Кирсанов В. С. Научная революция XVII века. С. 329.

²³⁰ Вавилов С. И. Исаак Ньютон. М.: Изд-во Акад. наук, 1961. С. 111.

«Явление I. Спутники Юпитера подчиняются третьему закону Кеплера.

Явление II утверждает то же самое для спутников Сатурна.

Явление III. Пять планет (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн) обращаются вокруг Солнца.

Явление IV. Пять планет движутся в соответствии с третьим законом Кеплера.

Явление V. Второй закон Кеплера выполняется, если за центр притяжения выбрать Солнце, а не Землю.

Явление VI. Второй закон Кеплера справедлив для Луны»²³¹.

Далее Ньютон доказывал справедливость этих шести утверждений.

Ньютон в первом издании «Начал» обосновывал также законы Кеплера. С помощью закона всемирного тяготения Ньютон объяснял траектории комет, движения Луны, законы Кеплера, а также приливы.

Предсказательная сила теории

Многие факты, которые могли быть выведены из теории Ньютона, были в то время известны, а С. И. Вавилов даже считает, что «если связать в одно все предложения и мысли Гука о движении планет и тяготении, высказанные им в течение почти двадцати лет, то мы встретим почти все главные выводы «Начал» Ньютона, только высказанные в неуверенной и мало доказательной форме»²³².

В теория Ньютона учитывались новые астрономические данные: сообщения Дж. Кассини о спутниках Сатурна и таблицы Флемстида. Следствиями из законов Ньютона стали векторное правило для сложения сил, законы сохранения количества движения и скорости центра тяжести. В разделе VIII «Начал» «получен результат, эквивалентный доказательству закона сохранения полной энергии в поле центральной силы, хотя в явном виде формулировки такой теоремы нет»²³³. В разделе XI методами теории возмущений рассматривается задача трех тел. В конце книги I приводится теорема о том, что две тяжелые

²³¹ Кирсанов В. С. С. 319.

²³² Вавилов С. И. Исаак Ньютон. М.: Изд-во Акад. Наук, 1961. С. 104.

²³³ Там же. С. 318.

сферы притягиваются друг к другу как две точечные массы, а затем излагается теория притяжения эллипсоидов.

Вторая книга посвящена механике жидкости и газа, которая во времена Ньютона почти не была изучена. В данной книге сформулирована теория подобия, рассмотрено распространение волн, установлено соотношение между длиной волны, ее скоростью и частотой колебаний; получен закон сопротивления для тела, движущегося в жидкости.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

Теория Ньютона находилась в соответствии с известными до написания «Начал» законами Кеплера, Галилея, Декарта, Буллиальда, Борелли, Гука, с теорией Коперника.

Кеплер сформулировал эмпирически выведенные законы движения планет и разобрал вопрос о тяжести тел: «тяжесть есть стремление к соединению родственных тел»²³⁴.

Галилей основал рациональную динамику и пришел к заключению, «что без действий сил тело будет двигаться равномерно или же останется в покое»²³⁵. Он почти сформулировал второй закон механики и закон независимого действия сил.

Гюйгенс нашел выражение центробежной силы, доказал постоянство периодов кругового маятника, решил задачу об ударе упругих шаров. «Законами Кеплера была поставлена определенная механическая задача, законы Галилея устанавливали принципы, на основании которых задача должна была решаться; наконец, Гюйгенсом даны первые простейшие приемы решения динамических задач»²³⁶.

Декарт указал, что движение без действия сил должно быть прямолинейным.

Ньютон называл своими предшественниками Буллиальда, Борелли и Гука. Буллиальд заметил: «мнение Кеплера о том, что сила, исходящая от Солнца, распространяется только в плоскости вращения планет и, следовательно, убывает обратно пропорционально расстоянию от Солнца, неверно»²³⁷. По Булли-

²³⁴ Вавилов С. И. Исаак Ньютон. С. 99.

²³⁵ Там же. С. 100.

²³⁶ Там же.

²³⁷ Вавилов С. И. Исаак Ньютон. С. 101

альду, сила должна распространяться от поверхности к поверхности и должна поэтому убывать обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца.

В 1666 г. Борелли предполагал существование силы тяготения: «должно несомненно существовать некоторое естественное стремление небесных тел к соединению друг с другом. С другой стороны, вращательное движение вызывает в теле некоторое стремление от центра вращения. Если эти два стремления, одно направленное от Солнца, другое к Солнцу, равны между собою, то данная планета может двигаться только на определенном расстоянии от Солнца»²³⁸.

Гук вывел необходимость уменьшения тяжести тел с расстоянием от центра Земли, он указывал в работе 1674 г. «Попытка доказательства годичного движения на основе наблюдений»:

1. все небесные тела производят притяжение к их центрам, притягивая не столько свои части, но и другие небесные тела;
2. всякое тело, получившее однажды простое прямолинейное движение, продолжает двигаться до тех пор, пока не отклонится в своем движении другой силой и не будет вынуждено описывать круг, эллипс или иную сложную линию;
3. притягивающие силы тем больше, чем ближе тело, на которые они действуют.

Системность

В работе «Математические начала натуральной философии» реализован геометрически строгий подход: «Вывести из явлений два или три общих принципа движения и затем изложить, как из этих ясных принципов вытекают свойства и действия всех вещественных предметов»²³⁹. Сначала вводятся определения основных физических понятий – пространства, времени, массы, количества движения, силы, затем излагаются аксиомы и законы движения. Из точно сформулированных недоказуемых принципов-аксиом логически вытекают леммы и теоремы. Ньютон свел в единую систему формулировки законов природы и способы математических вычислений и показал в заключи-

²³⁸ Там же. С. 101.

²³⁹ Там же. С. 111.

тельной части своего труда, что большинство движений, с которыми мы сталкиваемся во Вселенной, – от приливов до перемещения небесных тел, – определяются одной-единственной силой, названную им тяготением. Ньютон вывел из небольшого числа посылок множество разнообразных следствий.

5.2.2. Волновая теория Френеля. Явление дифракции

Первые работы Френеля датированы 1815 г., а в 1818 г. он объединил полученные результаты и изложил их в работе, представленной на конкурс Французской Академии Наук. Экспериментальное подтверждение теории Френеля получила в том же году в присутствии членов комиссии.

Эмпирическая проверяемость теории

Все следствия теории Френеля эмпирически проверяемы. Более того, принцип дифракции дал толчок для развития экспериментальных средств оптики, в частности, сделал возможным изготовление дифракционных решеток.

Соответствие новой теории известным фактам

В 1818 г. Френель изложил свою теорию в мемуаре о дифракции, представленном на конкурс Парижской Академии Наук. Из теории Френеля следовали выводы, которые, как заметил Пуассон, находятся в противоречии со здравым смыслом. Из расчета получалось, что в центре тени от непрозрачного диска определенных размеров должно находиться светлое пятно, а в центре проекции круглого отверстия на определенном расстоянии – темное пятно. Араго поставил эксперимент, подтвердивший правильность выводов из теории Френеля, что положило конец долгому спору между сторонниками корпускулярной и волновой гипотез. Таким образом, теория Френеля опровергла казавшийся очевидным факт.

Предсказательная сила теории

Принцип Гюйгенса-Френеля, положенный в основу волновой теории, дает возможность рассчитывать картину дифракции для различных случаев. Зная длину волны, можно определить, насколько отклоняется свет за препятствием. Рассматривая явление дифракции, Френель произвел расчет, который прекрасно

согласовывался с экспериментальными данными. До Френеля такой расчет не осуществлялся.

Френель ввел в оптику понятие зон – концентрических сфер с радиусами, кратными половине длины волны. Если закрыть первую внутреннюю зону маленьким круглым диском, то «в геометрической тени диска интенсивность света будет такой же, как и в отсутствие диска»²⁴⁰.

Объяснительная сила теории

Расчет огибающей волнового фронта позволил объяснить факт, долгое время служивший препятствием для принятия волновой теории: почему свет, имея волновую природу, распространяется прямолинейно. Согласно принципу дифракции отклонение волн у края препятствия зависит от длины волны, поэтому для волн с небольшой длиной волны распространение света можно считать прямолинейным.

Френель объяснил явление изгибания света и проникание световых лучей в затененную область: «полосы видны даже в тени, которая кажется разделенной на отдельные темные полосы и более светлые полосы, расположенные на равных расстояниях друг от друга»²⁴¹.

Френель объяснил явление интерференции, представив его как сумму волн: «колебания ослабляются, когда “узлы разрежения” одной системы лучей совпадают с “узлами уплотнения” другой системы, и усиливаются, когда оба движения находятся “в гармонии”»²⁴². При этом «каждую точку волнового фронта можно считать центром вторичного возмущения, которое вызывает элементарные сферические волны, а волновой фронт в любой более поздний момент времени – огибающей этих волн. Френель смог объяснить явление дифракции, дополнив построение Гюйгенса утверждением, что вторичные волны интерферируют между собой»²⁴³.

Френель объяснил опыт с двумя зеркалами, в ходе которого при соединении двух пучков, правильно отраженных от зер-

²⁴⁰ Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973. С. 345.

²⁴¹ Френель О. Ж. О свете // Творцы физической оптики. М.: Наука, 1973. С. 170.

²⁴² Льюис М. История физики. М.: Мир, 1970. С. 204.

²⁴³ Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973. С. 342.

кальных поверхностей, получаются ряд темных и светлых полос, параллельных друг другу, которые в белом свете окрашиваются в яркие цвета. Френель вывел общий закон периодических действий, производимых при взаимодействии световых пучков: «Соединение лучей производит максимум света, если разность пройденных ими путей равна $0, d, 2d, 3d, 4d, 5d$ и т. д. и что, напротив того, они взаимно нейтрализуют друг друга и производят темноту, когда эта разность»²⁴⁴ кратна половине длины волны.

Недостатком теории, препятствующим ее признанию, оказалась неспособность объяснить явления поляризации и двойного лучепреломления. Кроме того, Френель столкнулся с затруднением, которое состояло в исключении обратной волны. Требовалось объяснить, почему элементарная сферическая волна, излучаемая точками поверхности волнового фронта, образует только бегущую вперед волну. Френель объяснил это тем, что волны, распространяющиеся в обратном направлении, гасятся волнами, идущими от задних точек, так что сохраняется только общее направление движения волны.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

Теория поддерживала волновую теорию и использовала ее принципы: принцип огибающей, принцип Гюйгенса и принцип интерференции. Согласно данным принципам, свет испускается молекулами светящихся тел, причем каждая из них возбуждает в окружающем эфире сферические волны, которые можно представить как последовательности простых монохроматических волн (цугов). «Бесконечное число волн, исходящих... из различных точек светящегося тела, на большом расстоянии от него соединяются для нашего ощущения только в одну волну»²⁴⁵. Колебания разных молекул не согласованы друг с другом, поэтому интерферировать могут только лучи, исходящие из одного источника.

Предыдущая версия волновой оптики была предложена Юнгом, но перед ней стояли большие проблемы: «простейший факт прямолинейного распространения света не имел объяснения в

²⁴⁴ Борн М., Вольф Э. Основы оптики. С. 176.

²⁴⁵ Гюйгенс Х. Трактат о свете // Творцы физической оптики. М.: Наука, 1973. С. 25-26.

волновой теории; перед объяснением поляризации она останавливалась в полном бессилии; наконец, один из главных козырей волновой теории – построение Гюйгенса для двупреломляющих кристаллов – потерял свою убедительность после того, как открытие двуосных кристаллов показало ограниченность его применения»²⁴⁶. Юнг ввел в оптику понятие интерференции волн: «когда два волнообразных движения от различных источников либо полностью совпадают, либо близки по направлению, их совместное действие представляет комбинацию движений каждого из них»²⁴⁷. Юнг установил также необходимость совместного действия пучков света, для того чтобы имела место интерференция лучей: «Прикрыв с помощью экрана весь свет, приходящий от одной из сторон узкого тела, он заметил, что все полосы, расположенные во внутренней части тени, совершенно исчезли, несмотря на то, что таким образом им устранялась только одна половина отклоненных лучей. Отсюда он вывел, что для образования полос необходимо совместное действие обоих пучков лучей и что оно явилось результатом их действия друг на друга»²⁴⁸.

Системность

В основе волновой теории Френеля лежат принцип Гюйгенса, принцип интерференции и принцип огибающей, из которых Френель выводит следствия, позволяющие рассчитать положение дифракционных полос и интенсивность света. Несмотря на то, что теория вызывала критические замечания, поскольку принцип Гюйгенса-Френеля был недостаточно обоснован, мы оцениваем положительно ее системность, так как все положения выводятся из этих принципов, лежащих в ее основе.

²⁴⁶ Избранные труды классиков физической оптики. Новосибирск: Наука, 1993. С. 6.

²⁴⁷ Юнг Т. Теория света и цветов // Творцы физической оптики. С.120.

²⁴⁸ Френель О. Ж. О свете. С. 172.

5.2.3. Волновая теория Френеля. Явление поляризации

После разработки теории дифракции Френель перешел к исследованию явления поляризации. В 1816 г. в сотрудничестве с Араго он установил тот факт, что два луча, поляризованные в параллельных плоскостях, всегда интерферируют между собой, а два луча света, поляризованные в перпендикулярных плоскостях, никогда не интерферируют. «Две системы поляризованных в противоположном смысле лучей, интерферируя, не вызывали образования сколько-нибудь заметных каемок»²⁴⁹. Тот факт, что поляризованный при отражении луч обладает двумя ортогональными плоскостями симметрии, наталкивал на мысль о поперечных колебаниях. «Опыт, идея которого принадлежит господину Араго, доказал нам, что два луча, которые были первоначально поляризованы в противоположных направлениях, могут быть затем приведены к одной и той же плоскости поляризации, не приобретая, однако, в результате этого способности влиять друг на друга»²⁵⁰.

Эмпирическая проверяемость теории

Из теории поперечных колебаний Френель вывел эмпирически проверяемые следствия, описывающие свойства поляризованных лучей, явления двойного лучепреломления, изменение скорости света в жидкостях.

Соответствие новой теории известным фактам

Френель указывал ряд опытов, которые нуждаются в объяснении:

1) В тех же самых условиях, в которых два луча обыкновенного света кажутся взаимно уничтожающимися, два луча, поляризованные в противоположных направлениях, не оказывают друг на друга никакого заметного действия;

2) Лучи света, поляризованные в одном направлении, действуют друг на друга как естественные лучи; таким образом, для этих двух видов света явления интерференции абсолютно одинаковы;

²⁴⁹ Френель О. Ж. Мемуар о действии, которые оказывают друг на друга лучи поляризованного света // Избранные труды классиков физической оптики. Новосибирск: Наука, 1993. С. 36.

²⁵⁰ Там же. С. 39.

3) Два луча, первоначально поляризованные в противоположных направлениях, могут быть затем возвращены к одной плоскости поляризации, не приобретая, несмотря на это, способности действовать друг на друга.

4) Два луча, поляризованные в противоположных направлениях и возвращенные затем к одинаковой поляризации, действуют друг на друга как и естественные лучи, если они происходят от светового пучка, который первоначально был поляризован в одном-единственном направлении;

5) В явлениях интерференции, образованных лучами, испытывавшими двойное преломление, место каемок определяется не только разностью путей и разностью скоростей; ... необходимо, кроме того, учитывать разность в половину длины волны²⁵¹.

Было известно, что лучи света, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях, не дают интерференционной картины. Исходя из этих наблюдений, Френель выдвинул гипотезу о поперечности световых волн. Основываясь на данной идее, Френель интерпретировал закономерности, свойственные поляризованным лучам, в согласии с экспериментальными данными. В частности, он объяснил открытый в 1808 г. закон Малюса о поляризации света при отражении, а также явление круговой поляризации, открытое Био.

Объяснительная сила

Представление об эфире и теория поперечных колебаний позволили объяснить явление частичного отражения, истолкование которого представляло трудности для корпускулярной теории света: почему одна частица отражается, а другая испытывает преломление? Ньютон предлагал достаточно неправдоподобное объяснение: луч света, проходя через «преломляющую поверхность, приобретает некоторое преходящее ... состояние... которое располагает луч при каждом возвращении к легкому прохождению через ближайшую преломляющую поверхность, между же возвращениями – к легкому отражению...»²⁵².

²⁵¹ Френель О. Ж. Мемуар о действии, которое оказывают друг на друга лучи поляризованного света // Избранные труды классиков физической оптики. Новосибирск: Наука, 1993. С. 41.

²⁵² Ньютон И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. М.: Гос. изд-во, 1954. С. 211.

Френель объяснил явления поляризации, причем впервые. Он разработал теорию прохождения света через двоякопреломляющий кристалл и, изучая распространение упругих поперечных колебаний в анизотропных кристаллах, обнаружил, что скорость распространения колебаний в среде зависит от длины волны и коэффициента преломления среды. Отсюда следует явление преломления света и его дисперсия. В анизотропной среде могут распространяться лишь волны, имеющие определенное взаимно перпендикулярное направление колебаний; все остальные волны должны разделяться на две, так что они будут колебаться во взаимно перпендикулярных плоскостях. Исследование двойного лучепреломления привело к анализу сил, возникающих в упругой среде благодаря малым молекулярным перемещениям.

Предсказательная сила теории

Из теории поперечных колебаний следовало, что скорость распространения света в среде меньше, чем в воздухе. В 1849 г. Физо предложил метод измерения скорости света, а в 1850 г. измерил скорость света в воде, что подтверждало волновую теорию света.

Френель ввел понятие коэффициента увлечения для распространения света в движущейся среде. С точки зрения классической теории эфира «естественнее всего было бы принять, что скорость света c/n (n – показатель преломления среды) складывается со скоростью поступательного движения среды v . Однако Френель нашел $u = c/n + v(1 - 1/n^2)$ »²⁵³. Правильность этой формулы была подтверждена опытом Физо с текущей водой: «по принятой в теории Френеля гипотезе частичного увлечения эфира вычисления дают 0,40, то есть число, очень близкое к найденному»²⁵⁴. Этот опыт имел фундаментальное значение, так как позволял сделать выбор между тремя концепциями эфира: гипотезой полного увлечения, на которой была основана электродинамика Герца, причем ему так и не удалось объяснить

²⁵³ Зоммерфельд А. Оптика. С. 98.

²⁵⁴ Физо И. О гипотезах относительно светового эфира и об одном опыте, который, по видимому, доказывает, что движение тел меняет скорость распространения света внутри этих тел // Творцы физической оптики. Новосибирск: Наука, 1993. С. 218.

результат опыта Физо, гипотезой неподвижного эфира и гипотезой Френеля о частичном увлечении эфира; которая была предложена, чтобы «удовлетворить одновременно явление аберрации и знаменитому опыту Араго, которым было доказано, что движение Земли не влияет на преломление света звезд при его прохождении через призму»²⁵⁵. Если эфир неподвижен, то скорость света одинакова для неподвижной и движущейся сред. Если бы эфир увлекался телом полностью, то скорость света в среде складывалась бы со скоростью движущейся среды. Наконец, если увлекается только часть эфира, то скорость света увеличивается, но не на всю величину скорости тела, а только на некоторую долю. «Подтвержденное Физо значение френелевского коэффициента увлечения легло в основу теории оптических явлений в движущихся телах Лоренца»²⁵⁶. Этот опыт позднее был повторен Майкельсоном, который «подтвердил более раннее измерение Физо, показавшее, что свет движется в воде медленнее, чем в воздухе, – результат, который в свое время оказался решающим для принятия волновой теории света»²⁵⁷.

Малюс, Био и Брюстер обнаружили, что при наклонном прохождении через прозрачную пластинку азимут (угол между плоскостью колебаний и плоскостью падения) плоскости колебаний поляризованного луча меняется. Из предложенной в 1823 г. Френелем формулы следовало, что при заданных азимуте и угле падения вращение будет зависеть только от показателя преломления. Физо, делая опыты для обнаружения движения Земли, опроверг этот вывод Френеля, продемонстрировав, что азимут зависит и от направления движения Земли. Только в 1895 г. Лоренц показал, «что результаты Физо на этот раз были ошибочными и наличие положительного эффекта обусловлено другими причинами»²⁵⁸. Затем Максвелл в 1867 г. доказал, что возможность обнаружения влияния движения Земли на оптические явления «фактически противоречит результатам опыта Физо 1851 г, подтвердившим правильность формулы френелев-

²⁵⁵ Там же. С. 214.

²⁵⁶ Френк А. М. Физо и Майкельсон // Творцы физической оптики. С. 285.

²⁵⁷ Шенклед Р. С. Рэлей и Майкельсон // Творцы физической оптики. С. 237.

²⁵⁸ Френк А. М. Физо и Майкельсон // Творцы физической оптики. С. 288.

ского коэффициента увлечения»²⁵⁹. Еще позже Брэс (в 1905 г.) и Штрассер (в 1907 г.) повторили этот опыт Физо и нашли, что эффект не составляет даже 1,5% от заявленного Физо.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

Выдвижение теории о поперечных колебаниях приводило к парадоксальным следствиям, которые не могли быть приняты научным сообществом того времени. Согласно тогдашним представлениям, распространение света происходит в среде, называемой эфиром. «Эфир представляли как упругую, очень тонкую жидкую среду, а в жидкой среде существуют только продольные волны»²⁶⁰. Теория о поперечных колебаниях эфира приводила к фантастическим следствиям: поскольку поперечные колебания передают только твердые тела, то из этого предположения следовало, что эфир является твердым телом.

Физо, результат опыта которого совпал с предсказаниями теории Френеля, писал: «Концепция Френеля кажется столь необычной и в некотором отношении трудно воспринимаемой, что она нуждается еще в других проверках и в более основательном анализе со стороны математиков, прежде чем можно будет признать ее выражением действительности»²⁶¹.

Системность

Френель исходил из гипотезы несжимаемого эфира. Кроме того, он принял гипотезу о том, что плоскость колебаний световых волн перпендикулярна плоскости поляризации. Так как эфир в средах с неодинаковыми показателями преломления должен различаться либо плотностью, либо упругостью, Френель предположил, что в разных средах плотность эфира различна, тогда как упругость остается без изменения. Однако если бы Френель следовал строгой теории распространения возмущения в твердом эфире, он не смог бы прийти к правильным результатам, как это показал последующий анализ. Френель не построил строгую теорию, а просто принял гипотезы о направ-

²⁵⁹ Френк А. М. Физо и Майкельсон. С. 288.

²⁶⁰ Спасский Б. И. История физики. С. 257.

²⁶¹ Физо И. О гипотезах относительно светового эфира и об одном опыте, который, повидимому, доказывает, что движение тел меняет скорость распространения света внутри этих тел // Творцы физической оптики. С. 219.

лении световых колебаний в плоскополяризованном свете, а также гипотезу о непрерывности тангенциальной слагающей светового вектора на границе двух сред. Позднее предпринимались попытки построить более строгие теории, но оказалось невозможным дать аналитический вывод формул Френеля, рассматривая эфир как несжимаемую сплошную среду. Свои основные законы Френель вывел, опираясь на перечисленные гипотезы и закон сохранения энергии.

5.2.4. Электродинамика Ампера

В начале сентября 1820 г. Араго сообщил французским академикам об открытии Эрстедом влияния проводника с током, направление которого совпадало с магнитным меридианом, на магнитную стрелку. Ампера это открытие натолкнуло на мысль о возможной связи электрических и магнитных явлений и на исключение представлений об особой магнитной жидкости. В 1820–1821 гг. Ампер сообщил Парижской Академии Наук о своем открытии пондеромоторных взаимодействий, которые он назвал электродинамическими. Ампер продемонстрировал взаимодействие двух прямолинейных проводников с током, двух замкнутых токов, соленоида и магнита, эквивалентность поведения соленоида с током и магнитной стрелки в магнитном поле Земли. В 1826 г. издан основной труд Ампера «Теория электродинамических явлений, однозначно выведенная из опыта». В нем Ампер систематически изложил свои исследования по электродинамике.

Эмпирическая проверяемость теории

Теория Ампера была эмпирически проверяемой и опиралась на большое количество экспериментальных данных. На основании известных экспериментальных данных Ампер устанавливал количественные законы, в частности, дал выражение для силы взаимодействия проводников с током через силы токов, длины проводников и углы между ними, а также в зависимости от расстояния между элементами тока. Предположение о зависимости силы от расстояния не следовало из данных опыта, а может рассматриваться как аналогия с силами тяготения или силами взаимодействия между электрическими зарядами.

Соответствие новой теории известным фактам

В то время, когда Ампер выдвинул свою теорию, были известны следующие факты: опыты Эрстеда, Араго, Био.

21 июля 1820 г. Эрстед опубликовал статью «Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку»²⁶², в которой был описан фундаментальный опыт: ток в прямолинейном проводнике, идущий вдоль меридиана, отклоняет магнитную иглу от направления меридиана. Этот опыт имел большое значение, потому что демонстрировал действие силы нового, неньютоновского типа. Из опыта Эрстеда стало ясно, что действующая между магнитом и током сила направлена не по соединяющей их прямой, а по нормали к этой прямой. Данное явление привело в замешательство ученых, поскольку все силы понимались в ньютоновском смысле, т. е. как действующие между материальными частицами по соединяющей их прямой. Араго в 1820 г. собрал установку с вертикальным проводником тока, проходящим сквозь горизонтально расположенный кусок картона, посыпанный железными опилками. Араго видел, что проводник облепывается железными опилками так, как если бы это был магнит, и сделал вывод, что ток вызывает магнетизм в железе, которое не подвергалось предварительному намагничиванию. В 1820 г. также был известен опыт Араго, который показал, что проводник с током действует на железные предметы, которые при этом намагничиваются.

Объяснение данным явлениям пытался дать Био, который предположил, что когда по проводнику протекает электрический ток, то под его действием хаотично расположенные магнитные диполи проводника упорядочиваются. Однако Ампер предложил другое объяснение: «не проводник, по которому течет ток, становится магнитом, а наоборот, магнит представляет собой совокупность круговых токов»²⁶³. Экспериментальным подтверждением гипотезы Ампера можно считать открытие в 1821 г. Фарадеем электромагнитного вращения. Этот опыт был правильно понят Ампером, который сразу же предсказал,

²⁶² Русский перевод см.: Эрстед Г. Х. Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку // А. М. Ампер. Л.: Электродинамика, 1954.

²⁶³ Стасский Б. И. История физики. С. 254.

что стальной брусок, помещенный внутри спирали с током, приобретает постоянную намагниченность.

В том же 1820-м году Био и Савар собрали установку, состоящую из толстого вертикального проводника, расположенного рядом с магнитной стрелкой: при включении тока в проводнике стрелка начинает колебаться с периодом, который зависит от электромагнитной силы, действующей на полюса при различных расстояниях от центра стрелки до проводника с током. Измерив эти расстояния, Био и Савар вывели закон, носящий их имя.

Объяснительная сила

Предположив, что магнит представляет собой систему круговых параллельных токов, Ампер модифицировал свою теорию так, чтобы теоретические и экспериментальные результаты оказались в полном соответствии друг с другом. Исследуя поведение спирали с током в магнитном поле Земли, Ампер отказался от первоначальной теории о токах, перпендикулярных оси магнита, и принял, что они расположены в плоскостях, находящимися под разными углами к оси.

Предсказательная сила теории

Изучая опыт Араго, Ампер предложил более простой и удобный способ намагничивания стальных брусков, помещая их внутри спирали с током. Это привело к созданию электромагнита.

Ампер вывел формулу для величины силы, возникающей между двумя элементами тока.

В ходе теоретических исследований Ампер установил, что части одного и того же проводника должны взаимно отталкиваться. В 1822 г. Ампер получил экспериментальное подтверждение этого явления, используя приспособление в виде сосуда с ртутью, разделенного перегородкой на два отделения, которые соединял плавающий подвижный проводник. При прохождении тока по проводнику из одного отделения в другое подвижный проводник смещается.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

Теория Ампера была согласована с некоторыми эмпирическими законами.

Рассматривая магнит как систему токов и используя свою формулу взаимодействия элементов тока, Ампер вывел первый закон Лапласа, а из него – закон Био-Савара и закон Кулона для магнитного взаимодействия двух магнитов, рассматриваемых как две токовые системы.

Используя совпадение формулы Пуассона, выведенной для силы действия магнитного элемента «на элемент северного или южного флюида», с формулой, получающейся из своей теории для маленькой замкнутой петли тока, Ампер получил теорему эквивалентности.

Однако предположения Ампера об отсутствии «магнитной жидкости» и представление о магните как о системе круговых токов противоречили представлениям того времени и не поддерживались существующими теориями.

Простота или системность

В основе теории Ампера лежит предположение, что сила между двумя элементами тока действует вдоль линии, их соединяющей. Кроме данного предположения, теория Ампера «взаимодействия двух токов базируется на четырех экспериментальных фактах»²⁶⁴.

К этим фактам относятся опыт по действию равных противоположно направленных токов; опыт, показывающий, что влияние тока, текущего по искривленной части провода, эквивалентно действию такого же прямолинейного тока; факт, что никакой замкнутый контур не приводит в движение подвижный проводник; факт, подтверждающий, что сила изменяется обратно пропорционально расстоянию.

Большую работу Ампера, опубликованную в 1827 г., Максвелл охарактеризовал как «совершенную по форме и непревзойденную по точности». Ампер свел «к единой причине (взаимодействию двух элементов тока) три вида взаимодействий, кажущихся совершенно различными: магнитостатические, электромагнитные и электродинамические»²⁶⁵.

²⁶⁴ Спасский Б. И. История физики. Там же.

²⁶⁵ Льюэли М. С. 257.

Главное достоинство своей работы Ампер видел в том, что она «изгнала из физики...вращательные силы», сведя все виды взаимодействий к взаимодействию частиц вдоль соединяющей их прямой.

На момент появления теория Ампера была согласована со всеми экспериментальными данными. Однако в 1876 г. Роуланд показал, что движущийся по окружности заряд оказывает такое же действие на магнитную стрелку, как и круговой ток, причем сила воздействия на стрелку зависит от скорости заряда. В теории Ампера силы зависели лишь от расстояния между частицами; кроме того, опыт Роуланда подтверждал существование вращательных сил.

5.2.5. Электромагнитная теория Максвелла

Максвелл поставил перед собой задачу: дать объяснение удивительным опытам с электромагнитными силами Фарадея, которым Максвелл искренне восхищался, и выразить в математической форме его идеи. Фарадей не был профессиональным математиком, и не чувствовал потребности выражать свои результаты в виде «доступном для нападков со стороны математиков. Благодаря этому он был оставлен в покое и мог делать работу, ему присущую, – находить соответствие между своими идеями и своими фактами ... Главным образом в надежде положить эти идеи в основу математической теории взялся я за настоящий трактат»²⁶⁶.

В 1845 г. Фарадей обнаружил явление, свидетельствующее о связи между электричеством и светом: «когда луч поляризованного света и линии магнитной силы проходят одновременно и параллельно друг другу через прозрачную твердую или жидкую среду, ... то луч вращается»²⁶⁷. Луч пропускаться параллельно силовым линиям поля, и при возбуждении электромагнитна плоскость поляризации света поворачивалась. Фарадей считал, что все природные явления и силы родственны по своей природе, в частности, свет должен иметь ту же природу, что

²⁶⁶ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. С. 154.

²⁶⁷ Фарадей М. О влиянии магнетизма на свет и о различии между ферромагнитным и диамагнитным состоянием материи // Экспериментальные исследования по электричеству. Изд-во Акад. Наук СССР, 1959. Т. III. С. 626.

и электричество: «Я давно уже придерживался мнения... что различные формы, в которых проявляются силы материи, имеют общее происхождение или, другими словами, настолько близко родственны друг другу и взаимно зависимы, что они могут как бы превращаться друг в друга»²⁶⁸. В своем «Трактате об электричестве и магнетизме» 1873 г. Максвелл попытался создать теорию этого явления. Понимая материю как систему сил, Фарадей считал, что она существует всюду, занимает собою все пространство: «Магнитные силы не действуют ... непосредственно и без участия материи, но при посредстве вещества»²⁶⁹. Эта идея электромагнитного поля делала ненужным введение понятия среды, в которой распространяются колебания – эфира.

В 1855–1856 гг. Максвелл в работе «О фарадеевских силовых линиях», используя аналогию с течением жидкости, строит модель постоянного электрического поля, что позволяет ему рассмотреть поляризацию диэлектриков и электропроводность. Его построения основаны на предположении о существовании особого вида материи: «Метод представления действия магнита как действия, обусловленного распределением “магнитной материи”, очень удобен, однако всегда следует помнить, что он является лишь искусственным приемом описания действия, создаваемого некоторой системой поляризованных частиц»²⁷⁰. В данной работе Максвелл перевел идеи Фарадея, на которые он опирался при построении своей теории, на математический язык.

Эмпирическая проверяемость теории

В «Предварительной главе об измерении величин» Максвелл выделяет основные единицы – длину, время, массу и основные их комбинации. Для введения электромагнитных величин он использует аналогию между током и течением жидкости: «В случае потока электричества в проводнике мы ничего не знаем ни о его плотности, ни о скорости. Нам известна лишь та величина, которая в теории жидкости является произведением

²⁶⁸ Фарадей М. О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий // Экспериментальные исследования по электричеству. Изд-во Акад. наук СССР, 1959. Т. III. С. 11-12.

²⁶⁹ Там же. С. 37.

²⁷⁰ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. С. 30.

плотности на скорость»²⁷¹. Разрабатывая теорию электромагнитного поля, Максвелл использовал наглядные представления, основанные на аналогии с течением жидкости. Больцман писал, что «Максвелл нашел свои уравнения в результате стремления доказать при помощи механических моделей возможность объяснения электромагнитных явлений, исходя из концепции близкодействия, и только эти модели впервые указали путь к тем экспериментам, которые окончательно и решительно установили факт близкодействия»²⁷².

Максвелл ввел ряд новых величин – функций точек пространства: напряженность, индукция магнитного и электрического полей, вектор-потенциал, плотность электрического тока. Данные функции описывают характеристики электромагнитного поля: «Электрическое поле – это часть пространства в окрестности наэлектризованных тел, рассматриваемая с точки зрения электрических явлений»²⁷³.

Электромагнитные явления происходят в среде, которую Максвелл понимал как пространство, окружающее электрические и магнитные тела. При этом допускалось, что в пространстве имеется материя, находящаяся в движении. Используя такие представления о среде, в которой распространяются возмущения, Максвелл теоретически обосновал гипотезу Фарадея об электромагнитной природе света.

Теория Максвелла об электромагнитной природе света получила опытное подтверждение благодаря экспериментам Герца и Риги.

Соответствие новой теории известным фактам

Теорию Максвелла можно рассматривать как попытку завершить работу Фарадея над построением новой теории. Опыты, которые нуждались в объяснении, были следующими.

Фарадей провел серию опытов с конденсаторами с различными изолирующими прокладками и выдвинул предположение, что действие электрического заряда вызывает поляризацию диэлектриков: «Теория предполагает, что все частицы, все равно,

²⁷¹ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. С. 37.

²⁷² Цит. по: П. С. Кудрявцев. С. 261.

²⁷³ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. С. 365.

какого вещества: изолирующего или проводящего, – как целое представляют собой проводники. Находящиеся под влиянием индукции частицы изолирующего диэлектрика можно сравнить с большим количеством небольших магнитных стрелок или, точнее, небольших изолированных проводников. Индукция может произвести это только путем поляризации смежных с веществом частиц, которые выполняют то же по отношению к следующим»²⁷⁴.

В 1845 г. Фарадей открыл влияние магнитных полей на луч света и построил теорию об электромагнитной природе света. «Магнитные линии, проходя через боросиликатное свинцовое стекло и через большое количество других веществ, вызывают в них способность действовать на поляризованный луч света, когда эти линии параллельны лучу»²⁷⁵. Для доказательства электромагнитной теории света Максвелл обращался к сравнению скорости света со скоростью распространения в среде электромагнитных колебаний. Он опирался на экспериментальные значения этих двух скоростей в воздухе, но пришел к выводу, что точность измерений недостаточна, «чтобы подтвердить или опровергнуть» его теорию. Тогда он попытался сравнить скорости света и электромагнитного возмущения в прозрачных средах, в частности для парафина. Скорость света в парафине была измерена Гибсоном и Баркляем, а скорость электрического возмущения – Гладстоуном, однако совпадение оказалось не полным, что, по мнению Максвелла, говорило о несовершенстве теории: «наши теории о строении тел должны быть улучшены, прежде чем мы сможем выводить их оптические свойства из электрических»²⁷⁶.

Фарадей также заметил, что вращение плоскости поляризации запаздывает по отношению к изменениям интенсивности поля. Кроме того, запаздывание существует также и для изме-

²⁷⁴ *Фарадей М.* Природа электрической силы или сил // Экспериментальные исследования по электричеству. Изд-во Акад. Наук СССР, 1959. Т. I. С. 700-701.

²⁷⁵ *Фарадей М.* О намагничивании света. Там же. С. 17.

²⁷⁶ *Максвелл Дж. К.* Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. С. 339.

нения силы тока: «Как для полного развития тока, так и для его полного прекращения требуется время»²⁷⁷.

В 1845 г. Фарадей обнаружил, что кусок тяжелого стекла, помещенный перед полюсом мощного электромагнита, испытывает слабое отталкивание. Это свойство было найдено и у многих других тел, которые Фарадей назвал диамагнетиками. После долгих исследований Фарадей установил, что все тела либо парамагнетики, либо диамагнетики и что нейтральных тел не существует, т. е. все тела либо притягиваются, либо отталкиваются полюсом магнита достаточной силы. Теория диамагнетизма была одной из самых сложных проблем для физики XIX в. Фарадей первоначально высказал гипотезу, благосклонно принятую другими учеными, что «явления, которые диамагнитные тела обнаруживают, находясь под влиянием сил в магнитном поле, можно объяснить, если допустить, что они обладают полярностью, одинаковой по роду, но противоположной по направлению той полярности, которую при тех же обстоятельствах приобретают железо, никель...»²⁷⁸. Однако опыты не подтвердили данную версию, и Фарадей предположил, что «указанные действия производятся токами, которые индуцируются в массах движущихся металлов, а вовсе не поляризацией их частиц»²⁷⁹. Чтобы подтвердить эту гипотезу, Фарадей ставит новые опыты и обнаруживает, что «металлическая пластина как целое определенно испытывает на себе вторичное отвлечение (индукцию), но если ее подразделить на части поперек пути индукционных токов, то действие, которое она испытывает, будет равно нулю»²⁸⁰.

В ходе исследований диамагнетизма Фарадей обнаружил, что, «заяв известное положение, стержень сохраняет его с большим упорством, если только поддерживать магнитную

²⁷⁷ *Фарадей М.* Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще // Экспериментальные исследования по электричеству. Изд-во Акад. Наук СССР. 1959. Т. III. С. 439.

²⁷⁸ *Фарадей М.* О полярном или ином состоянии диамагнитных тел // Экспериментальные исследования по электричеству. Изд-во Акад. Наук СССР. 1959. Т. III. С. 192.

²⁷⁹ Там же. С. 200.

²⁸⁰ Там же. С. 214.

силу»²⁸¹, и предположил, что причиной являются токи, индуцируемые в стержне. Это открытие явления электромагнитной индукции имело большое практическое значение, на нем основана работа всех электромашин – генераторов, трансформаторов, электромоторов. К моменту написания Максвеллом «Трактата» получили распространение телеграф, генераторы электрического тока (Кромвель и Варли в 1866 г., Сименс в 1867 г., Уитсон в 1867 г.), электродвигатели.

Объяснительная сила

Максвелл не дает объяснения явлениям электричества и магнетизма, он лишь вводит понятия, которые дают «возможность такого объяснения»²⁸². Он проводит аналогию между электрическим током и течением жидкости. Введенное им понятие напряженности поля позволяет ему показать, что энергия накапливается в диэлектрике в виде состояния напряжения и движение электричества подчиняется тем же закономерностям, что и движение несжимаемой жидкости²⁸³.

Максвелл объясняет явление электромагнитной индукции, говоря, что каждое изменение поляризации сопровождается током смещения. Основная идея подхода Максвелла, заимствованная у Фарадея, сводится к следующему: «местом, в котором совершаются электрические явления, является среда»²⁸⁴.

Предсказательная сила теории

Максвеллу удалось на основании своей теории предсказать скорость распространения электромагнитных волн в пространстве, «которая оказалась весьма близкой к скорости света»²⁸⁵. Максвелл интерпретировал факт равенства скорости света и скорости распространения электромагнитных колебаний таким образом, что свет и электромагнитные волны явления одной природы. «Если бы было найдено, – писал Максвелл, – что

²⁸¹ *Фарадей М.* О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества. // Экспериментальные исследования по электричеству. Изд-во Акад. наук СССР. 1959. Т. III. С. 69.

²⁸² *Франкфурт У. И., Шраер М. Г.* Некоторые замечания к электродинамике Максвелла // Джемс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, С. 382.

²⁸³ Там же. С. 285.

²⁸⁴ Там же.

²⁸⁵ *Мак-Дональд Д.* Фарадей, Максвелл и Кельвин. М.: Атомиздат, 1967. С. 111.

скорость распространения электромагнитных возмущений такого же не только в воздухе, но и в других прозрачных средах, мы получили бы серьезное основание для того, чтобы считать свет электромагнитным явлением»²⁸⁶. Максвелл исходит из своих уравнений и после преобразований приходит к выводу, что в пустоте поперечные токи смещения распространяются с той же скоростью, что и свет, а это и «представляет собой подтверждение электромагнитной теории света». Максвелловская теория света соответствовала результатам небольшой работы Больцмана «о зависимости температуры теплоизлучения черного тела, в которой эмпирически найденный закон Стефана получен из максвелловского лучевого давления с помощью второго начала термодинамики»²⁸⁷. В 1887–1888 гг. Герц обнаружил отражение, преломление и интерференцию электромагнитных волн: эти явления «могут служить обоснованием для теории электродинамических явлений, которую создал Максвелл, основываясь на воззрениях Фарадея»²⁸⁸.

Уравнения Максвелла позволяют проследить изменения поля во времени в любой точке пространства.

Среди частных следствий из теории Максвелла есть утверждение о том, что диэлектрическая постоянная равна квадрату показателя преломления оптических лучей в данной среде. В 1872–1874 гг. Больцман изучал указанную связь между показателем преломления и диэлектрической проницаемостью, он провел серию измерений диэлектрической проницаемости ряда веществ и показателей их преломления, причем результаты тщательно проведенных опытов согласовывались с теорией Максвелла.

В «Трактате» Максвелл обсуждал наличие светового давления в направлении распространения света. Предсказанное

²⁸⁶ Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля М., 1954. С. 550–551.

²⁸⁷ Планк М. Дж. К. Максвелл и его значение для теоретической физики в Германии // Джемс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968. С. 241.

²⁸⁸ Герц Г. Об электродинамических волнах в воздухе и их применении // Из преддистории радио. М.: Изд-во АН СССР, 1948. С. 164. Цит. по: Б. И. Спасский. История физики. С. 114.

в 1873 г., оно было экспериментально измерено П. Н. Лебедевым в 1899 г.

В формулу Вебера для силы взаимодействия двух электрических зарядов входит коэффициент, имеющий смысл некоторой скорости. В 1857 г. Кирхгоф, используя закон Вебера, вывел закон распространения электродинамической индукции по проводу: если сопротивление равно нулю, то скорость распространения электрической волны не зависит от сечения провода, от его природы и плотности электричества и почти равна скорости распространения света в пустоте.

Бор писал, что хотя развитие физики увело нас от последовательного применения теории Максвелла, однако «соотношение между энергией и импульсом излучения, которое следует из электромагнитной теории, нашло применение даже в объяснении Комптона-эффекта»²⁸⁹.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

В начале 1870-х гг. в электродинамике существовали теории Ампера, Вебера, Максвелла и Гельмгольца. Все эти теории приводили к одинаковым результатам в случае замкнутых квазистационарных токов, поэтому для выяснения правильности той или иной теории нужно было обращаться к эксперименту с незамкнутыми и неквазистационарными токами. Согласно теории Ампера предполагалось, что сила, действующая на проводник с током со стороны другого контура, перпендикулярна направлению последнего. Так как «сила – функция расстояния», то Максвелл признал, что «из этих предположений наилучшим является принадлежащее Амперу»²⁹⁰. Теория Максвелла согласовывается с теорией Ампера в случае замкнутых токов, однако она включает много оригинальных идей относительно принципа близкодействия, электромагнитной природы света, диэлектрической проницаемости. Максвелл критикует формулы действия на расстоянии Гаусса и Вебера и показывает их противоречие закону сохранения энергии. «Формула Гаусса не согласуется с этим принципом и поэтому должна быть отвергнута, так как

²⁸⁹ Бор Н. Максвелл и современные теории физики // Джемс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968. С. 382.

²⁹⁰ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. С. 153.

она приводит к заключению, что энергию можно было бы неограниченно создавать в ограниченной системе с помощью физических средств»²⁹¹. А формула Вебера приводит к выводу о том, «что две электризованные частицы, движущиеся в соответствии с законом Вебера, могут иметь вначале конечные скорости, а затем, все еще находясь на конечном расстоянии друг от друга, могут приобрести бесконечную кинетическую энергию и совершить бесконечное количество работы»²⁹².

В середине XIX в. разработка электродинамики происходила «исключительно под знаком теории потенциала, которую разработал Гаусс на основе ньютоновского закона дальнего действия»²⁹³. Опыты Фарадея, описывающие новые явления, оказались настолько оригинальными, что «ученые того времени не способны были воспринять их и усвоить»²⁹⁴. Утверждения Фарадея и Максвелла о том, что непосредственного дальнего действия не существует и что силовое поле обладает «самостоятельным физическим существованием, и так чужды всему привычному ходу мыслей, что теория Максвелла не имела вообще в Германии никакой почвы».²⁹⁵ Мысли Фарадея об идее близкого действия выглядели несколько расплывчато, и Максвелл почувствовал необходимость теоретической разработки метода. Он писал, что если рассматривать передачу действия от одной элементарной частицы к другой на расстоянии, «то каково его состояние после того, как оно покинуло одну частицу, но еще не достигло другой... Действительно, как бы энергия ни передавалась от одного тела к другому во времени, должна существовать среда или вещество, в которой находится энергия, после того как она покинула одно тело, но еще не достигла другого... Следовательно, все эти теории ведут к понятию среды, в которой имеет место распространение...»²⁹⁶.

²⁹¹ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. С. 373.

²⁹² Там же.

²⁹³ Планк М. Дж. К. Максвелл и его значение для теоретической физики в Германии // Джеймс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968. С. 238.

²⁹⁴ Там же. С. 283.

²⁹⁵ Там же. С. 239.

²⁹⁶ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. С. 380.

Максвелл положил в основу теории идеи Фарадея об электромагнитной теории света, что позволило ему объединить оптические и электромагнитные явления. Ему удалось свести оптические явления к электромагнитным.

Идеи, выдвинутые Фарадеем и взятые Максвеллом за основу своей электродинамики, были необычными и не соответствовали представлениям того времени.

Например, объясняя явления диамагнетизма, Фарадей выдвинул две теории. Согласно первой, молекулы диамагнитных веществ под действием поля намагничиваются в направлении, противоположном направлению намагничивания парамагнитных веществ; согласно второй гипотезе, отталкивание диамагнитных тел магнитным полюсом лишь кажущееся и обусловлено разностью притяжений, т. е. тем, что среда, в которой тело находится, притягивается сильнее, чем само тело. В 1889 г. Дж. Паркер заметил, что первая теория противоречит второму началу термодинамики, а поскольку первая теория была выдвинута в период расцвета этой науки, то физики отказались от указанной теории и склонялись к гипотезе о влиянии среды. Сам Фарадей придерживался первой теории, так как считал неестественным приписывать пространству свойство притягиваться магнитным полем.

Теория о связи между электричеством и светом оказалась раскритикованной. Слова о «магнетизме света» в 1845 г. казались физикам непонятными, так как по теории Френеля, которая тогда была общепризнанной, свет не имел ничего общего с электричеством.

Кроме того, Фарадей критиковал атомистическую теорию материи. Он рассуждал следующим образом: «если атомы и пространство представляют собой две различные вещи, то следует признать непрерывность только пространства, потому что атомы представляют собой разные и отделенные друг от друга индивидуальности. Так что пространство пронизывает все тела, отделяя каждый атом от соседних с ним. Возьмем какой-нибудь изолятор, например сургуч. Если бы пространство было проводником, то изолятор должен был бы проводить ток... следовательно, пространство является изолятором. Теперь возьмем какой-нибудь проводник. Здесь, как и раньше, все атомы тоже

как бы окружены пространством, но если пространство – изолятор, то ток не может проходить от одного атома к другому, и все же проводник проводит ток; получается, что пространство – проводник»²⁹⁷. Таким образом, предположение атомной теории приводит к противоречию. Фарадей принял теорию поля, т. е. считал, что пространство нигде не пусто, иначе говоря, материя заполняет собой все пространство.

Кроме того, теория Максвелла была более непонятной и абстрактной, чем другие теории того времени, из-за чего длительное время она не получала признания.

Простота или системность

Максвелл излагает свою теорию не по общей дедуктивной схеме, а выводя уравнения для отдельных экспериментов. Этот способ изложения выбран Максвеллом намеренно: «Чтение оригинальных трудов дает изучающему любой предмет большое преимущество, ибо наука всегда наиболее полно усваивается в стадии зарождения. Если чем-то из написанного здесь мною я смогу облегчить изучающему понимание фарадеевских способов мыслить и выражаться, то сочту выполненной одну из главных целей своих, а именно передачу другим того восхищения, которое испытал я сам при чтении «Исследований» Фарадея»²⁹⁸.

В основе теории Максвелла лежат постулат о существовании среды, которая находится в «электрическом и магнитном состоянии», и гипотеза о токе смещения. Максвелл также опирается на идеи Фарадея о существовании силовых линий и об электромагнитной природе света. Максвелл использует идею об «электротоническом состоянии», т. е. гипотезу о том, что изменение магнитного поля вызывает вихревое электрическое поле. Максвелл постулирует также принцип близкодействия.

Однако процесс выведения следствий нельзя признать корректным. Максвелл, по выражению Пуанкаре, строит свою теорию при помощи «ловкости пальцев». Когда в ходе аналитического построения Максвелл наталкивается на очередное противоречие, он преодолевает его «с помощью обескураживающих вольностей. Например, ему ничего не стоит исключить какой-нибудь член, заменить неподходящий знак выражения обрат-

²⁹⁷ Льюиси М. С. 275-276.

²⁹⁸ Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 1. С. 15.

ным, подменить значение какой-нибудь буквы»²⁹⁹. Эту теорию не удалось сделать логически стройной.

5.2.6. Электродинамика Лоренца (Н. А. Lorentz)

Теория Максвелла является теорией электромагнитного поля, в ней обращается внимание на состояние материи или среды и не объясняется механизм изменения этих состояний. Однако «если мы хотим понять, каким образом электрические и магнитные свойства зависят от температуры, плотности, химического строения или кристаллического состояния, то мы не можем удовлетвориться простым введением для каждого вещества этих коэффициентов, значения которых должны определяться из опыта; мы будем принуждены обратиться к какой-нибудь гипотезе относительно механизма, лежащего в основе всех этих явлений»³⁰⁰. Таким образом, чтобы постичь механизм явлений, необходимо связать представление о среде с представлениями о веществе, и эта необходимость привела Лоренца к понятию электрона – малой заряженной частицы.

Уравнения Максвелла не оставались инвариантными при галилеевых преобразованиях, т. е. при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Они также были неприменимы к телам, движущимся по отношению к эфиру. В 1892 г. Гендрик Антон Лоренц предпринял попытку дополнить эти уравнения исследованием вопроса о поведении эфира по отношению к движущимся телам. В 1895 г. вышла фундаментальная работа Лоренца «Опыт теории электрических и оптических явлений в движущихся телах».

Эмпирическая проверяемость теории

Лоренц принял существование эфира – единого неизменного диэлектрика. Для того чтобы объяснить неудачу опыта Майкельсона, Фицджеральд и Лоренц независимо друг от друга выдвинули теорию о лоренцевом сокращении. Согласно этой гипотезе, движущиеся тела испытывают в направлении своего

²⁹⁹ Там же. С. 286.

³⁰⁰ Лоренц Г. А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. М.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит-ры, 1965. С. 28.

движения сокращение, которое тем сильнее, чем больше скорость тела.

Лоренц, применяя преобразования координат, времени и полей для движущихся систем отсчета, приходит к выводу, что не существует опытов, с помощью которых можно было бы определить движение тел относительно эфира. Таким образом, понятие эфира становится принципиально ненаблюдаемым, и мы оцениваем эмпирическую проверяемость теории отрицательно, так как она содержит принципиально ненаблюдаемое понятие.

Соответствие новой теории известным фактам

На момент публикации фундаментального труда Лоренца были известны следующие факты.

В 1851 г. Физо поставил опыт по измерению скорости света в движущейся жидкости, этот опыт был повторен Майкельсоном в 1886 г., и результаты изложены в статье «Влияние движения среды на скорость света». В этой работе экспериментально определен коэффициент увлечения Френеля. Гипотеза частичного увлечения эфира помогла Френелю объяснить, почему «видимая рефракция не изменяется с изменением направления световых лучей по отношению к движению Земли»³⁰¹. Френель вывел коэффициент увлечения среды движущимся телом и показал, что абберационный эффект не изменится, в 1871 г. это было экспериментально подтверждено Эйри. Лоренц дал теоретическое обоснование экспериментально полученному коэффициенту увлечения Френеля.

В 1877 г. был проделан эксперимент Роуланда по обнаружению магнитного действия вращающегося заряженного диска. Роуланд помещал эбонитовый диск между двумя стеклянными дисками, соединенными с землей, и, зарядив, приводил его во вращение. Ему удалось измерить магнитное поле у края эбонитового диска, причем предсказания теории Лоренца совпадали с экспериментальными данными.

В 1888 г. был проделан опыт Рентгена, исследовавшего магнитное поле, которое создается движущимся диэлектриком в электрическом поле. В этом опыте эбонитовый диск приводится во вращение между обкладками конденсатора. Рентген

³⁰¹ Кудрявцев П. С. История физики в 2 т. М.: Просвещение, 1971. Т. 1. С. 171.

зафиксировал наличие магнитного поля, появившегося в результате вращения диска, но точность эксперимента не позволяла определить величину поля. Это было сделано Эйхенвальдом в 1901–1904 гг., он повторил данный и некоторые другие опыты.

Для подтверждения своей гипотезы о неподвижном эфире Лоренц ссылается на эксперимент Лоджа, проведенный в 1891 г. Лодж наблюдал интерференцию двух пучков световых лучей, прошедших в противоположных направлениях между двумя параллельно расположенными дисками, которые были укреплены на общей оси. Сравнивая интерференционные картины для случаев, когда диски неподвижны и когда они быстро вращаются, Лодж не обнаружил смещения интерференционных полос. Оценив точность экспериментальных данных, Лодж заключил, что диски не сообщают эфиру своей скорости в пределах точности измерений.

Майкельсон в 1887 г. закончил опыты по изучению влияния движения Земли на распространение света и опубликовал результаты в работе «Об относительном движении Земли и светового эфира». Результат оказался отрицательным – ожидаемого смещения интерференционных полос не наблюдалось. Это противоречило всем сложившимся к тому времени теориям. В 1890 г. Герц выдвинул гипотезу о полном увлечении эфира движущимися телами, но она противоречила опыту Физо, абберации, опытам Рентгена и Эйхенвальда. Теория Лоренца соответствовала всем экспериментам, кроме опыта Майкельсона. Для объяснения этого опыта Лоренц и ввел гипотезу о сокращении тел в направлении их движения.

Объяснительная сила.

Лоренц принял существование вещества, состоящего исключительно из элементарных частиц электричества. Их распределением и движением объяснялись все электрические и оптические явления. Электрический ток в проводнике представляет собой движение электронов, которые в нем содержатся. «Эта теория отрицала особые токи проводимости Максвелла и понимала всякий ток как конвекционный»³⁰². Лоренц объяснял явле-

³⁰² Кудрявцев П. С. История физики. С. 320.

ние электромагнитного излучения следующим образом. Каждый движущийся электрон создает вокруг себя электромагнитное поле. Если электрон движется равномерно и прямолинейно, то он увлекает за собой свое поле, так что нет никакого излучения энергии, однако при изменении скорости излучаются электромагнитные волны, причем потеря энергии электроном в каждый момент времени пропорционален квадрату ускорения электрона. Электромагнитное поле является результатом наложения бесчисленного множества элементарных полей, создаваемых отдельными электронами.

Лоренц объяснил отражение и преломление света, явление абберации, коэффициент увлечения Френеля, выведя закон отношений между показателем преломления и плотностью среды.

Предсказательная сила теории

Эйхенвальд проделал опыт, в котором измерял магнитное поле, возникающее при движении диэлектрика в неоднородном электрическом поле. В этом опыте эбонитовый диск вращался между обкладками двух конденсаторов, которые заряжались так, чтобы по разные стороны от диска были разноименные заряды. При вращении диска, кроме «тока, образуемого движущимися зарядами, появившимися в результате поляризации диэлектрика в тех местах, где электрическое поле меняло свой знак, возникал ток смещения, который также создавал магнитное поле»³⁰³. Этот эксперимент позволил сделать выбор между конкурирующими теориями Герца и Лоренца, и рассматривался как подтверждение теории Лоренца.

В 1902 г. Рэлей, а в 1904 г. Брес пытались обнаружить двойное лучепреломление в прозрачных изотропных телах, обусловленное сокращением их размеров в направлении движения вместе с Землей, согласно гипотезе Лоренца – Фитджеральда. Опыт дал отрицательный результат.

В 1903 г. Трутон и Нобиль пытались определить движение Земли относительно эфира, измеряя момент силы, который действовал на заряженный конденсатор, движущийся вместе с Землей, причем плоскость данного конденсатора располагалась под

³⁰³ Стасский Б. И. Т. 2. С. 163.

углом к направлению движения. Эфирный ветер не был обнаружен.

Результаты двух последних опытов побудили Лоренца обобщить ранее разработанную теорию в работе 1904 г. «Электромагнитные явления в системе, движущейся с любой скоростью, меньшей скорости света». В ней Лоренц доказывает, что не существует опытов, с помощью которых можно было бы определить движение тел относительно эфира.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

Лоренц пытается обосновать результаты теории Максвелла, в уравнения которой входят феноменологические коэффициенты. В докторской диссертации 1875 г. «Об отражении и преломлении лучей света» Лоренц пытается обосновать изменение скорости света в среде через влияние наэлектризованных частей тела.

Исходя из предположений о существовании эфира и электронов, Лоренц вывел пять уравнений, из которых, как указал он сам, вытекают все другие известные законы электромагнетизма.

Уравнения Лоренца, как и уравнения Максвелла, не оставались инвариантными при галилеевых преобразованиях. В 1887 г. В. Фохт нашел преобразования, при которых уравнения Лоренца остаются инвариантными, но при этих преобразованиях оказывались неинвариантными уравнения классической механики. При лоренцевых преобразованиях время также меняется при переходе от одной системы отсчета к другой.

Системность

В основу своей теории Лоренц кладет представление о заряженных частицах тел, и, кроме того, делает ряд допущений. Эти допущения Лоренц выдвинул, чтобы устранить противоречие между опытом Майкельсона и теорией неподвижного эфира. Лоренц подчеркивал, что речь идет не об абсолютном покое эфира, а о том, что части эфира покоятся друг относительно друга и что все действительные движения небесных тел являются движениями относительно эфира. Лоренц принимает следующие гипотезы: постулат о формулах преобразований, предположение о существовании неподвижного эфира, о шарообразности неподвижного электрона, о равномерности распределения

заряда электрона, об электромагнитной природе всех масс, об изменении размеров тел в направлении движения, о том, что силы между нейтральными частицами и между заряженными и нейтральными преобразуются так же, как и электростатические силы в электростатической системе. Наконец, Лоренц считает, что силы, действующие между независимыми частицами, подвергаются изменению таким же образом, «как электрические силы электростатической системы».

Мы будем считать, что теория Лоренца не системна, так как, во-первых, ему пришлось вводить множество гипотез, чтобы устранить противоречия, вызванные принятием гипотезы о неподвижном эфире, и, во-вторых, гипотеза о сокращении размеров тел в направлении движения была гипотезой *ad hoc*. Чтобы обосновать данную гипотезу, Лоренц пытается экстраполировать предположение о природе электромагнитных сил на силы, действующие в твердых телах: «стоя на этой точке зрения, естественно предположить, что, подобно электромагнитным силам, молекулярные притяжения и отталкивания тоже получают некоторое изменение при сообщении телу поступательного движения; в результате весьма легко может последовать изменение размеров тела»³⁰⁴.

Гипотеза сокращения продольных размеров тел получила обоснование только в теории относительности Эйнштейна.

5.2.7. Специальная теория относительности

В 1905 г. появилась работа Альберта Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел». Эйнштейн предположил, что «для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы»³⁰⁵ (принцип относительности). Эйнштейн поставил себе целью создать электродинамику движущихся тел, приводящую к уравнениям Максвелла для покоящихся тел.

Будем считать периодом становления специальной теории относительности первую четверть XX в.

³⁰⁴ Лоренц Г. А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. М.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит-ры, 1965. С. 293.

³⁰⁵ Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел. Собр. науч. трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 7.

Эмпирическая проверяемость теории

Релятивистские формулы преобразования координат, найденные Эйнштейном, при малых скоростях эквивалентны классической формуле, и классическая механика оказывается приближением СТО, справедливым при малых скоростях. Хотя теория Эйнштейна предназначалась для макроскопических тел («Разрабатываемая теория основывается, как и всякая другая электродинамика, на кинематике твердого тела»³⁰⁶), проверить ее для больших скоростей удалось только для элементарных частиц, для которых был подтвержден эффект увеличения массы.

Кроме того, СТО сделала ненужным понятие эфира: «Эфир вообще не существует. Электромагнитные поля представляют собой не состояния некоторой среды, а самостоятельно существующие реальности, которые нельзя свести к чему-либо другому и которые, подобно атомам весомой материи, не связаны ни с какими носителями»³⁰⁷.

Соответствие новой теории известным фактам

Справедливость кинематики и динамики, основанных на релятивистских преобразованиях координат и времени, подтверждена множеством экспериментальных фактов; в частности, для объектов, движущихся с релятивистскими скоростями, например элементарных частиц, зафиксировано увеличение времени жизни.

В 1846 г. Майкельсон пытался экспериментально обнаружить движение Земли относительно эфира, который принимался неподвижным. Этот опыт основан на смещении интерференционных полос, если свет распространяется в движущейся среде относительно положения, которое они занимают в опытах с неподвижной средой. В 1851 г. Физо наблюдал интерференцию двух лучей света, один из которых проходил через столб воды в направлении течения, а другой – перпендикулярно течению. В результате опыта Физо действительно обнаружил смещение интерференционных полос. Майкельсон пытался обнаружить интерференционную картину, заставив интерферировать два

³⁰⁶ Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел. С. 8.

³⁰⁷ Эйнштейн А. Эфир и теория относительности. Собр. науч. трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 685.

взаимно перпендикулярных луча, проходившие одинаковое расстояние. Однако этот опыт, неоднократно повторенный в различных условиях, давал сугубо отрицательный результат.

Таким образом, Майкельсон мог утверждать, что «эти результаты должны означать, что никакого смещения интерференционных полос не имело места. Оказывается, следовательно, что не выполняется следствие гипотезы покоящегося эфира. Отсюда с необходимостью следует, что сама гипотеза ошибочна»³⁰⁸. Однако явление абберации света указывало на то, что эфир неподвижен: «этот вывод прямо противоречит общепризнанному до сих пор объяснению абберационных явлений, объяснению, основывающемуся на предположении, что Земля движется сквозь эфир, который при этом остается неподвижным»³⁰⁹. Эти два вывода противоречили один другому. Постулат о постоянстве скорости света позволил объяснить отрицательный результат опыта Майкельсона по обнаружению эфира: «Согласно теории относительности, при этом не может возникнуть никакого смещения полос, так как Земля представляет собой вполне равноправную систему отсчета,двигающуюся практически без ускорения, и изменением ее направления движения за время опыта можно пренебречь»³¹⁰.

Применяя формулы для преобразования координат и формулы преобразования напряженностей электрического и магнитного полей, Эйнштейн получил закон абберации.

Эйнштейн вывел формулы для продольной и поперечной масс электрона, а в 1902 г. Кауфман установил зависимость поперечной массы β -частиц от их скорости, что подтверждало следствие СТО о релятивистском увеличении массы.

Теория давала совпадение с экспериментальными данными по измерению давления света.

Доплер сформулировал принцип, носящий его имя, согласно которому при сближении источника волн и наблюдателя воспринимаемая частота выше излученной, а при удалении – ниже. Для звуковых волн это положение вскоре было эксперимен-

³⁰⁸ Майкельсон А. А. Движение Земли относительно светового эфира // Творцы физической оптики. С. 235.

³⁰⁹ Там же.

³¹⁰ Зоммерфельд А. Оптика. С. 107.

тально подтверждено Бейс-Баллотой. Полученные данные хорошо согласовывались с вычисленными по формулам Доплера. Однако, пытаясь распространить свой эффект на световые волны, Доплер ошибся, так как неправильно «представлял себе характер изменений, происходящих в спектре»³¹¹. Физо правильно указал, что это изменение сводится к смещению спектральных линий: «таким образом, именно Физо ввел в науку понятие, получившее название доплеровского смещения»³¹².

Эйнштейн вывел формулу, связывающую воспринимаемую наблюдателем частоту со скоростью источника колебаний, получив хорошее совпадение с измерениями известного эффекта Доплера.

Объяснительная сила

Теория Эйнштейна объясняла опыт Майкельсона и гипотезу о лоренцевском сокращении длины движущихся тел. Из положения классической механики о пропорциональности силы ускорению в новой механике было выведено увеличение массы тела с возрастанием скорости. Опыты Физо по исследованию распространения света в движущейся жидкости объяснялись просто релятивистским сложением скоростей света в жидкости и движением среды и давали точное совпадение с данными эксперимента.

В 1906 г. Кауфман подтвердил свои результаты последующими измерениями поперечной массы электрона.

Предсказательная сила теории

В 1935 г. Наккен в опытах с катодными лучами подтвердил релятивистскую формулу сложения скоростей с точностью до одного процента.

Косвенным экспериментальным подтверждением одного из следствий специальной теории относительности – парадокса часов – считают удлинение «времени жизни» быстрых μ -мезонов по сравнению с медленными, а также существование «поперечного эффекта Доплера». Поперечный эффект Доплера был подтвержден в 1871 г. опытами Айвеса.

³¹¹ Франкфурт В. И., Френк А. М. Очерки развития оптики движущихся тел // Труды института истории естествознания и техники. Т. 43. М., 1961. С. 21-36.

³¹² Френк А. М. Физо и Майкельсон. С. 283.

К прямым экспериментальным подтверждениям относится влияние температуры на положение линий испускания и поглощения при опытах с эффектом Мёссбауера по проверке гравитационного смещения, отмеченное П. Б. Паундом в работе 1960 г. «О весе фотонов».

Экспериментальные подтверждения для замедления времени были найдены при исследовании нестабильных частиц, получаемых с помощью ускорителей высоких энергий и наблюдаемых в космических лучах. Такие частицы движутся со скоростями, близкими к скорости света, и, с точки зрения земного наблюдателя, их времена жизни, а следовательно, и проходимые ими от рождения до распада расстояния увеличиваются в тысячи и десятки тысяч раз.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

Механика Ньютона является предельным случаем специальной теории относительности при малых скоростях. При скоростях, намного меньших скорости света, релятивистские эффекты становятся пренебрежимо малыми и преобразования координат переходят в преобразования Галилея, справедливые для классической механики.

Системность

Эйнштейн опирался на два постулата, с формулировки которых он начинает изложение своей теории:

«1. 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 относятся.

2. Каждый луч света движется в “покоящейся” системе координат с определенной скоростью V , независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом»³¹³.

Работа состоит из двух частей – кинематической и электродинамической.

В кинематической части даются определения основных понятий – одновременность, длина тела, промежуток времени. Затем

³¹³ Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Собр. науч. трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 10.

Эйнштейн выводит формулы «преобразования координат и времени от покоящейся системы к системе, равномерно и прямолинейно движущейся относительно первой»³¹⁴. Используя эти выражения, Эйнштейн вывел формулу для сложения скоростей, релятивистскую формулу эффекта Доплера и абберации. В электродинамической части Эйнштейн получает преобразования уравнений Максвелла, преобразование энергии лучей света, выводит теорию давления света. Мы считаем, что СТО – системная теория, поскольку из двух постулатов были выведены разнообразные следствия.

5.2.8. Общая теория относительности Эйнштейна

В 1907 г. Эйнштейн критически пересмотрел определения массы, даваемые классической физикой: инертная масса тела определяется как отношение приложенной к ней силы к приобретаемому ускорению, а тяжелая масса – как отношение веса тела к ускорению силы тяжести. Равенство обеих масс является опытным фактом, который был установлен Галилеем в опытах с падающими телами и Ньютоном в опытах с маятниками. В период с 1890-го по 1910-й г. Р. Этвеш провел серию опытов и показал, что эквивалентность гравитационной и инертной масс соблюдается с точностью выше одной двадцатимиллионной.

Эйнштейн постулировал равенство гравитационной и инертной масс как внутреннее свойство гравитационного поля. Ученый пришел к этому выводу при помощи мысленного эксперимента с падающим лифтом. В результате Эйнштейн сформулировал принцип эквивалентности: «В поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо «инерциальной» системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее»³¹⁵.

После подготовительных работ в 1914–1915-е гг. новая теория была изложена в фундаментальном труде «Основы общей теории относительности» (1916).

Подтверждением специальной теории относительности можно считать экспериментальное обнаружение отклонения луча света вблизи тяготеющих масс, красное смещение, а также сме-

³¹⁴ Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел. С.13.

³¹⁵ Эйнштейн А. Автобиографические заметки. Собр. науч. трудов. М.: Наука, 1967. Т. VI. С. 282.

шение перигелия Меркурия, установленное Шварцшильдом в 1916 г.

Эмпирическая проверяемость теории

Эйнштейн считает, что теория, дающая причинное объяснение, обязательно должна быть эмпирически проверяемой: «Принцип причинности только тогда имеет смысл суждения об явлениях в мире опыта, когда в качестве причин и следствий в конечном итоге оказываются лишь наблюдаемые факты»³¹⁶. Законы физических явлений должны сохранять свою силу для любого наблюдателя. Новые законы тяготения приводят к экспериментально проверяемым следствиям.

Соответствие новой теории известным фактам

Смещение перигелия Меркурия было замечено астрономами, которые пытались объяснить это смещение влиянием других планет. Но расчеты, проведенные исходя из указанного предположения, приводят к значению смещения, которое меньше наблюдаемого. С точки зрения ОТО вопрос впервые был рассмотрен Эйнштейном в 1915 г. и окончательно решен Шварцшильдом в 1916 г. Результаты расчетов совпали с результатами астрономических наблюдений.

Объяснительная сила

Следствия из постулатов общей теории относительности ведут к обобщению понятий пространства и времени. Эйнштейн показал, что для произвольно движущихся систем отсчета мир не является евклидовым: его геометрические свойства определяются распределением масс и их скоростями. Эйнштейн решил проблему тяготения в общем виде, составив уравнение, которое связывает энергию и импульс гравитационного поля с распределением материи в пространстве.

Эйнштейн объяснил известные, но не полностью объясненные особенности движения Меркурия: «Для планеты Меркурий получается вращение орбиты, составляющее 43'' в столетие,

³¹⁶ Эйнштейн А. Основы общей теории относительности // Собр. науч. трудов. М.: Наука, 1967. Т. I. С. 455.

что точно соответствует величине, установленной астрономами (Леверье)»³¹⁷.

Предсказательная сила теории

Из новых законов тяготения следует, что луч света должен отклоняться в гравитационном поле: «луч света, проходящий мимо Солнца, испытывает отклонение в $1,7''$ »³¹⁸. Опыты, проведенные во время солнечных затмений 29 мая 1919 г. и 21 сентября 1922 г., подтвердили выводы общей теории относительности и в количественном отношении.

Эйнштейн предсказал существование гравитационного смещения частоты: «спектральные линии света, попадающего к нам с поверхности больших звезд, должны сместиться к красному концу спектра»³¹⁹. Этот результат ОТО был подтвержден Сент-Джонсом в 1923–1926 гг. при наблюдении спектра Солнца. В 1925 г. Адамс подтвердил выводы теории, наблюдая спектр спутника Сириуса, обладающего очень большим полем тяготения. В 1964 г. О. А. Мельников получил хорошее соответствие с предсказаниями теории, наблюдая сдвиги частот в центральной части солнечного диска.

Непротиворечивость новой теории по отношению к установленным теориям

Общая теория относительности включает специальную теорию относительности в качестве частного случая.

Системность

В целом теория достаточно стройная, хотя имеется вспомогательная гипотеза. Нарушением системности можно считать введение космологического Λ – члена в уравнение Эйнштейна.

³¹⁷ Там же. С. 504.

³¹⁸ Эйнштейн А. Основы общей теории относительности // Собр. науч. трудов. М.: Наука, 1965. Т. I. С. 504.

³¹⁹ Эйнштейн А. Основы общей теории относительности. С. 502.

5.3. Результаты калибровки критерия

В результате рассмотрения научных теорий в период становления было определено наличие набора характеристик у этих теорий. Результаты рассмотрения могут быть представлены в виде сводной таблицы.



Подчеркнем, что результаты анализа физических теорий могут служить иллюстрацией идеи Витгенштейна о семейном сходстве. Теории почти никогда не обладают одновременно всеми существенными характеристиками. Однако очевидно, что из шести существенных характеристик всегда присутствует большинство, в данном случае по меньшей мере четыре. Заметим также, что имеется только одна теория, которая в период становления обладала всеми перечисленными характеристиками. Большинство научных теорий лишено одного или двух свойств. Чаще всего на начальном этапе своего развития теория оказывалась недостаточно систематизированной. Поэтому свойство системности научной теории имеет меньшую значимость. Кроме того, теория могла не соответствовать предыдущим теориям, что бывает в случаях, когда в ее основе лежит оригинальная научная идея.

Такой же результат был получен и еще для девяти теорий, включая теории строения атома, квантово-механические и термодинамические теории, которые рассматривались предварительно, но не вошли в окончательный вариант текста по причине ограниченности объема. Обобщая полученные результаты, мы полагаем константу m , характеризующую минимально необходимое количество свойств, равной четырем. Таким образом, мы предлагаем считать теорию *научной*, если в момент становления она обладала по крайней мере четырьмя существенными свойствами из шести.

Итак, мы пришли к выводу, что теория должна иметь по крайней мере четыре из шести существенных свойств. Теперь, когда критерий демаркации построен и готов к применению, зададимся вопросом о его универсальности. Следующий пункт посвящен обсуждению этого вопроса.

5.4. Область применения критерия

Предлагаемый выше критерий научности построен на основе метода уточнения нечетких понятий и конкретизации этого метода на примере ряда фундаментальных физических теорий. Метод уточнения нечетких понятий представляет собой некую абстрактную схему и является универсальным. Однако калибровка критерия производилась на конкретных теориях и, предположительно, универсальной не является. Естественно, возникает вопрос об области применения построенного критерия.

Область применения критерия может оказаться ограниченной как «вширь», так и «вглубь». Первое ограничение касается возможности использования построенного критерия для проверки не только физических теорий, но и сомнительных концепций из других областей знаний. Второе ограничение связано с релевантностью данного критерия для физических теорий, отличающихся степенью фундаментальности. Поскольку фундаментальность является несколько расплывчатым понятием, то данное различие между научными теориями попробуем сформулировать в терминах позитивистов: можно ли применять критерий и к теориям эмпирическим, т. е. не содержащим теоретических терминов, и к теориям абстрактным, не проверяемым непосредственно.

Обсудим данные возможности последовательно. Если мы хотим применять предлагаемый критерий к различным областям знания, то следует учесть два обстоятельства. Во-первых, в различных областях науки существуют разные требования к научной теории. Например, в математике для подтверждения правильности положений вместо соответствия экспериментальным данным используется доказательство. Поэтому приведенный выше набор характеристик не может быть использован, в частности, для демаркации теорий в области математики, а также, скорее всего, и во многих других науках, имеющих отличные от принятых в физике стандарты научности.

Во-вторых, даже если стандарты научности совпадают, значимость свойств в разных областях науки может оказаться различной. Сравните, к примеру, понимание предсказательной силы у физиков и у историков. Поскольку исторические науки имеют дело с уникальными явлениями, постольку изменяется

само понятие факта, а значит, и представления об объяснении и предсказании. Исторические труды часто строятся как рассказ, который не может быть сведен к системе аргументов. Соответственно, требование системности для историка также является несущественным. Таким образом, ответ на первый вопрос отрицательный.

Выявленный нами на основе анализа физических теорий набор свойств применим только к физическим теориям. Если мы хотим использовать данный критерий для демаркации теорий из другой области естествознания, то предварительная калибровка должна проводиться на примерах из той же области. Поскольку в разных научных дисциплинах могут различаться стандарты проверки и принятия теорий, то может измениться, например, минимально необходимое количество свойств m , которые должны выполняться для того, чтобы теория была научной.

Ответ на вопрос о применимости критерия к теориям различной общности предполагает, что научные теории могут иметь разную структуру. Как правило, научную теорию считают системой предложений, основанной на постулатах или аксиомах, из которых выводятся теоремы и проверяемые следствия, но, чтобы дать обоснованный ответ на указанный выше вопрос, требуется рассмотреть структуру научной теории более подробно.

Чтобы ответить на вопрос о применимости критерия к теориям различной степени общности, мы должны рассмотреть классификацию теорий по степени их общности. Научная теория формулируется как система предложений, а предложения одной теории могут иметь различную степень общности. Поэтому для классификации теорий нам следует рассмотреть их структуру. Анализ этой структуры позволяет установить, каким образом различные положения теории связаны друг с другом. На основе данных о структуре научных положений проводится классификация теорий по степени их общности, опираясь на которую можно ответить на вопрос о границах применимости метода демаркации научных и ненаучных теорий.

5.4.1. Структура научной теории

Существует множество подходов к анализу структуры научной теории. Однако, не смотря на многообразие, их можно раз-

делить на две основные группы. Первая точка зрения основана на предположении, что структура знания отражает структуру мира. Эта точка зрения очень близка позиции объективного идеализма начиная с платоновского мира идей, являющихся эйдосами вещей материального мира. Позднее, Гегель стал выдающимся исследователем, который принял в качестве методологической установки конституирование целостной философской системы, исходящей из принципа тождества мышления и бытия, действительного и разумного³²⁰. Сходной позиции придерживался и Витгенштейн: «Нечто логическое не может быть только возможным. Логика трактует каждую возможность, и все возможности суть *се факты*»³²¹. Поскольку влияние гегелевской философии на Россию было очень велико, (идеи Гегеля распространялись не только марксистами, но и влиятельными русскими философами, в частности, В. Г. Белинским и И. А. Ильиным), то мнение, что структура научной теории является отображением структуры изучаемого объекта, разделяется и некоторыми советскими авторами.

Приведем ряд примеров. Мнение, что структура теории отражает структуру изучаемого объекта, поддерживается, в частности, И. Д. Андреевым: «заключенная в математические символы и формулы, научная теория становится как бы прозрачной, обнажая свой логический скелет, структуру, являющуюся отражением структуры отображенного в ней объекта»³²². Аналогичного мнения придерживается и И. В. Кузнецов, использовавший тождественность структуры теории и объекта для решения сложной задачи – обеспечить объективность научного знания: «Цельность и единство научной теории скрывают за собой устойчивую и определенную внутреннюю структуру, неподвластную произволу ученого и соответствующую структуре объекта»³²³. Обоснование этой позиции дается в марксистской гно-

³²⁰ Гегель Г. В. Ф. Философия права. М.: Мысль, 1990. С. 29.

³²¹ Витгенштейн Л. Логико-философский трактат. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 2.0121.

³²² Андреев И. Д. Теория как форма организации научного знания. М.: Наука, 1979. С. 209.

³²³ Кузнецов И. В. Структура научной теории и структура объекта // Вопросы философии. 1968. № 5. С. 77.

сеологии, так как согласно ленинской теории отражения материя «копируется» в наших ощущениях: «материя есть философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них»³²⁴. Такой подход позволяет избежать упреков в субъективизме, а также, что важнее, провозгласить истинность научной теории, если истину понимать как соответствие реальности.

Одно из возражений, высказанных в адрес мнения о структурной идентичности теории и объекта, заключается в том, что структура системы научного знания не вытекает непосредственно из структуры объекта, к которому она относится, а, прежде всего, зависит от принятых стандартов исследования, определяемых общественной и научной практикой. В ответ на это возражение марксисты предложили считать объект и систему знания о нем не идентичными, а «изоморфными». Однако понятие изоморфизма оказалось противоречащим методу марксизма, так как в диалектике «истинность, т. е. «соответствие» знания предмету, понимается как процесс, в то время как отношение изоморфности между двумя системами есть отношение статичности»³²⁵. Поэтому влияние общественной практики на построение структуры теории было признано второстепенным, а структура объекта определяющей. Мы считаем, что хотя свойства и отношения объекта отражены в понятиях и законах теории, однако взаимная подчиненность этих законов зависит от способа организации теории, который задан и видением научной картины мира, и научными стандартами.

Иную позицию по отношению к структуре научной теории занимают позитивисты. Научная теория рассматривается как логическая структура, имеющая в качестве оснований набор постулатов, из которых выводится все множество следствий. В рамках логического понимания теории можно выделить две точки зрения, представляющие структуру научной теории как централизованную и как иерархическую. Первая из них принадлежит И. Лакатосу

³²⁴ Ленин В. И. *Материализм и эмпириокритицизм* // ПСС. Т. 18. С. 131.

³²⁵ Кузнецов И. В. Структура научной теории и структура объекта // *Вопросы философии*. 1968. № 5. С. 77.

и развита в его книге «Фальсификация и методология научно-исследовательских программ»³²⁶. Он предложил рассматривать структуру научной теории как имеющую «твердое ядро» и «защитный пояс гипотез». Такой подход позволяет объяснить механизм защиты теории от фальсификации. Если находится утверждение, которое противоречит набору законов, находящихся в «твердом ядре», то «защитный пояс» изменяется таким образом, чтобы сохранить неизменным центр теории – ее ядро.

Отметим, что в центр помещается небольшая группа относительно независимых и равноправных законов. Это ядро играет важную роль как в определении картины мира, так и в координации дальнейших исследований. Однако, твердое ядро само создается в процессе деятельности ученого, что подчеркивал Ярошевский: «Категориальное ядро конкретной программы не заложено заранее в проблемной ситуации в виде уже готовой структуры, прозреваемой отдельным ученым благодаря его обостренной чувствительности к запросам науки. Оно складывается в деятельности этого ученого и становится центром кристаллизации его замыслов, экспериментальных проектов, возможных вариантов решений и т. д. только под давлением научного социума, компонентом которого является он сам»³²⁷. И. Д. Андреев считает, что эти законы, тем не менее, подчинены некоторому принципу – «основополагающему началу». Принцип теории «составляет ее коренную основу, вокруг которой синтезируются все ее понятия, суждения, законы и т. п., раскрывая, обосновывая и развивая этот принцип»³²⁸.

Дальше от центра отстоят законы, зависящие от первой группы, но самостоятельные по отношению друг к другу. И так вплоть до следствий из законов, которые характеризуют конкретные явления, охватываемые данной теорией, и связи между ними. На периферии находятся другие элементы теории: суждения о свойствах и отношениях; понятия, фиксирующие наибо-

³²⁶ Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ. М.: Медиум, 1995. С. 54.

³²⁷ Ярошевский М. Г. Структура научной деятельности // Вопросы философии. 1974. № 11. С. 107.

³²⁸ Андреев И. Д. Теория как форма организации научного знания. М.: Наука, 1979. С. 10.

лее общие, существенные свойства предметов и явлений действительности, а также их связи и отношения³²⁹; факты и явления. Из современных авторов аналогичного взгляда на структуру теории придерживается ван Фраассен, выделяющий центральную логическую часть теории, которая взаимодействует с изучаемыми объектами посредством моделей³³⁰.

Концентрическая структура предполагает наличие выделенного центра, наделенного особой важностью, и подчиненных центру или ядру теории уровней. Альтернативное представление о структуре теории как об иерархии предложений является по сути очень близким. В иерархическом представлении утверждения теории подразделяются на уровни по степени общности. Самый нижний обычно занимают предложения о фактах, а самый верхний – наиболее общие научные утверждения. При этом иерархическая модель структуры теории не выделяет защищенного от фальсификации центра. Рассмотрим эту модель подробнее.

Иерархическое представление структуры научной теории позволяет выявить логические отношения между элементами теории, а также судить об их универсальности или степени общности. Наиболее подробно данная модель разработана в книге А. Л. Симанова³³¹, выделяющего два основных уровня научного познания – эмпирический и теоретический – и несколько более мелких подуровней. Наглядно его схему можно представить следующим образом.

Эмпирический уровень (эмпирические термины, эмпирические законы).
Переходный уровень (полуэмпирические законы, эмпирические и теоретические термины).
Теоретические понятия и законы.

³²⁹ Там же. С. 17.

³³⁰ См.: *Fraassen B. van* The Scientific Image. Oxford: Oxford Univ. Press, 1980. Ch. 2, 3.

³³¹ *Симанов А. Л.* Методологическая функция философии и научная теория. Новосибирск: Наука, 1986.

Общенаучные принципы и законы.
Теории определенных классов явлений, системы теоретических принципов, законов и их математические выражения.

Поясним подробнее содержание каждого уровня. На эмпирическом уровне изучаются явления и связи между ними, «результат формулируется в виде эмпирического закона (например, закон падения Галилея, газовые законы, закон Ома и др.)»³³². А. Л. Симанов считает, что «совокупность эмпирических терминов, эмпирических законов и соответствующий математический аппарат составляют эмпирическую теорию»³³³. Теории в процессе формирования опираются на полуэмпирические законы, которые позднее заменяются согласованными с ними аналитическими. «Например, механическая картина мира формировалась на основе механики Ньютона, в которой полуэмпирический закон движения имеет фундаментальное значение. Но уже в развитой механической картине мира механика Ньютона была заменена механикой аналитической, имеющей более общий и абстрактный характер»³³⁴. При формировании теории совершается переход к более абстрактным уровням, но этот переход осуществляется как обобщение, которое сохраняет исходное содержание эмпирических теорий. К общенаучным теориям Симанов относит теории, которые объединяют несколько разделов физики, например, теория относительности включает в себя оптику, электродинамику и кинематику. Теории общетеоретического уровня могут объединять несколько эмпирических теорий, предназначенных для разных классов явлений, устанавливать взаимосвязи между ними, описывая их при помощи теоретических законов, «которые формулируются в теоретических понятиях, относящихся к широкому классу явлений (например, в понятиях массы, энергии и т. п.)»³³⁵.

Поскольку последнее из рассмотренных представлений о структуре научной теории дает наиболее отчетливое понима-

³³² Симанов А. Л. Методологическая функция философии и научная теория. С. 100.

³³³ Там же.

³³⁴ Там же. С. 101.

³³⁵ Там же.

ние логических связей предложений в теории, примем его за основу при решении вопроса об области определения теории. Напомним, что нам следует установить возможность применения критерия научности к теориям разной степени общности.

Согласно схеме Симанова в основе теории лежат эмпирические законы. Однако простая совокупность эмпирических законов не образует эмпирической теории, хотя бы уже потому, что не является системой. Системность обеспечивается введением модельных представлений, играющих роль организующего принципа. Однако любая модель вводит некоторую онтологию, а следовательно, и теоретические термины. В самом деле, рассмотрим закон Ома, мы обнаруживаем, что в нем используются следующие теоретизированные представления: напряжение (вводится представление о потенциалах – теоретический термин); сила тока (наглядно уподобляется течению заряженных частиц; сила, заряд, частица – теоретические термины). Поэтому мы будем считать, что любая частная теория содержит не только термины наблюдения, но и теоретические термины, задача которых – дать представление о внутренних механизмах протекания явления. В терминах Симанова такая теория относится к полуэмпирическому уровню.

Допустим, что для полуэмпирических теорий выполняются те признаки, которые существенны для подтверждения научного статуса. Установим, сохраняются ли данные признаки при переходе на следующие – теоретический и общетеоретический – уровни. Для теорий полуэмпирического уровня важна не только возможность вывести проверяемые следствия, но и эмпирическая подтверждаемость, т. е. отсутствие терминов, не имеющих денотата. Полуэмпирические теории обладают предсказательной силой благодаря включению эмпирических законов. Заложенные в полуэмпирические теории модельные представления обеспечивают системность теории и объяснительную силу.

Рассмотрим, сохраняются ли существенные характеристики в том случае, когда полуэмпирические теории объединяются в более общие теории, а сами объединяют уже установленные эмпирические законы. Требования выводимости проверяемых следствий и соответствия фактам обеспечиваются объединяемыми теориями более низкого уровня, которые охватываются

более общей. Более общая теория, включающая в себя полуэмпирические теории, должна быть согласована со своими эмпирическими законами, которые описывают явления реального мира. Поэтому для теорий высокого уровня общности по-прежнему важным остается требование согласованности с экспериментом.

Общенаучные теории описывают механизмы явлений, поэтому такие теории должны иметь объяснительную и предсказательную силу. Требования непротиворечивости по отношению к существующим теориям и системности являются необходимым условием возможного объединения теорий. Эйнштейн считал, что нельзя создать общенаучную теорию, не опираясь на теории узких классов явлений. Если полуэмпирические теории не разработаны, то из общей теории невозможно вывести проверяемые следствия, а именно они обеспечивают возможность эмпирической проверки общей теории. В противном случае общая теория останется непроверяемой и будет представлять собой научную гипотезу или метафизическую систему.

Таким образом, для теорий любой степени общности требования выводимости проверяемых следствий, согласованности теории и эксперимента, наличия объяснительной и предсказательной силы, системности и согласования с уже существующими теориями являются одинаково важными. В заключение подчеркнем, что данный критерий не может применяться для выбора одной из двух конкурирующих теорий. Теории, которые к настоящему времени отброшены, – теории теплорода, флогистона, – были научными. Наш критерий может быть применен только для ответа на вопрос: научна данная теория или нет?

Общий вывод об области приложения критерия таков: критерий должен применяться только к теориям из той области науки, на теориях которой была проведена калибровка. В заключение этой главы укажем, на что еще нужно обращать внимание при работе с критерием.

1) Требуется определение факторов, оказывающих существенное влияние на стабильность характеристик критерия. Чаще всего таким фактором является время, в течение которого эволюцией изучаемого объекта можно пренебречь. В нашем случае речь идет об изменении стандартов научного исследования.

2) Так как критерий предназначен для работы с изменяющимися объектами, требуется отслеживать эволюцию последних, чтобы вовремя можно было изменить состав характеристик и приписанные им веса, если используется вариант критерия, в котором тестируемые характеристики отличаются по значимости.

3) Калибровка критерия с целью нахождения значения констант налагает определенные требования на объем выборки: она должна быть достаточно представительной и содержать проблемные случаи.

4) Объект, классифицированный в соответствии с критерием, может изменить свои характеристики, поэтому результат тестирования не является окончательным, а имеет силу только для достаточно близкого промежутка времени.

5.5. Применение критерия к современным концепциям

Коль скоро было установлено, что данный критерий приложим в области физики, применим его для определения научного статуса некоторых современных концепций, претендующих на звание научных. На наш взгляд, оценка наличия у теории существенных характеристик должна осуществляться специалистами, поэтому мы рассмотрим теорию торсионных полей А. Акимова, так как в отношении этой теории неоднократно высказывался заместитель директора Института ядерной физики Сибирского отделения РАН академик РАН Э. П. Кругляков. В данном пункте за основу взяты его оценки данной концепции, изложенные в большом количестве публикаций (см. далее)

Теория торсионных полей А. Акимова

Период становления	1980-е годы
Эмпирическая проверяемость	+ В принципе торсионные поля могут быть наблюдаемы.
Соответствие известным фактам	- Факты, на которые ссылались авторы, опровергнуты другими группами исследователей.
Объяснительная сила теории	- При объяснении допускаются искажения фактов.
Предсказательная сила теории	-

Непротиворечивость	устано-	Предсказывалось влияние торсионных полей на психику; не обнаружено.
вившимся теориям	-	Скорость распространения торсионных полей больше скорости света. Противоречит теории отнесенности.
Системность	-	

Пояснения к таблице

В мае 1987 г. А. Акимов представил докладную записку в Совет Министров СССР с просьбой о поддержании своего проекта. Тогда уже имелось заключение, согласно которому исследования по воздействию торсионных полей на человека не дали положительных результатов. В 1990 г. было опубликовано опровержение эксперимента, на который Акимов ссылался как на эмпирическое подтверждение своей теории.

Эмпирическая проверяемость теории

В 1997 г. в Италии проводилась научная школа, на которой физики обсуждали возможности экспериментального наблюдения полей кручения. В ней приняли участие теоретики и экспериментаторы из США, Японии, Тайваня, работающие в области поиска спин-гравитационных взаимодействий, Фундаментальная наука не отрицает возможности существования и проявления подобных полей. Были представлены проекты поиска спин-гравитационных эффектов как в лабораторных условиях, так и на галактическом уровне. Однако, в отличие от Акимова, физики считают, что такое поле будет чрезвычайно слабо взаимодействовать с материей. Поэтому для его обнаружения требуется существенно поднять чувствительность эксперимента.

Соответствие новой теории известным фактам

Автор теории торсионных полей ссылается, в частности, на следующие эксперименты как на подтверждение своей теории: эксперимент А. Тама и В. Хаппера (1977 г.), эксперимент Х. Хасаяки и С. Такеучи (1989 г.). Рассмотрим их более подробно.

А. Там и В. Хаппер (в 1977-м г.) наблюдали «притяжение» и «отталкивание» двух поляризованных лазерных пучков, проходящих через пары атомов натрия. Авторы дали этому эффекту объяснение, однако Акимов и Шипов заявили, что опыт показы-

вает справедливость торсионной науки. Однако в таком случае эффект должен наблюдаться в вакууме, что не было продемонстрировано последними авторами.

А. Акимов и Г. Шипов часто ссылаются на работу Х. Хасаяки и С. Такеучи (1989 г.), которые наблюдали изменение веса гироскопа в зависимости от направления вращения. Результат оказался странным, и еще три группы исследователей взялись за его проверку. В 1990 г. все три группы опровергли результат японских исследователей, причем две из них опубликовали свои результаты в том же журнале. Вывод одной из групп (Дж. Фаллер и др.): «Мы заключаем, что в пределах нашей экспериментальной чувствительности, которая примерно в 35 раз выше требуемой для наблюдения эффекта Хасаяки и Такеучи, изменение веса типа описанного ими отсутствует»³³⁶.

Итак, оказывается, что все вышеперечисленные эксперименты либо имеют неправильный результат, либо неправильно интерпретируются. Поскольку в соответствии с зафиксированными нами правилами достаточно хотя бы одного эксперимента, которому не соответствует теория, то мы оцениваем непротиворечивость по отношению к известным фактам отрицательно.

Объяснительная сила

Поскольку для объяснения фактов с помощью своей теории Акимов прибегает к искажению последних, мы заключаем, что его теория не обладает объяснительной силой. Например, в докладной записке А. Акимова министру науки Б. Г. Салтыкову (1996 г.) указано: «Кришем и независимо от него в ОИЯИ (Дубна) и ИФВЭ (Протвино) было установлено, что спиново поляризованные протоны рассеиваются на спиново поляризованной мишени при противоположно ориентированных спинах в 4 раза интенсивнее, чем это вытекает из квантовой хромодинамики. Кроме того, с ростом энергий вклад спиновых эффектов должен быстро падать, а в экспериментах он растет»³³⁷. Л. С. Золин (Дубна), принимавший участие в упоминаемом эксперименте, сообщил: «Утверждение о росте спиновых эффектов... нельзя признать корректным. В процессах с большими сечениями вклад спиновых эффектов в действительности

³³⁶ Цит. по: Кругляков Э. П. Потомков "детей лейтенанта Шмидта" нельзя оставлять без присмотра // Наука в Сибири 2000. N 3. С.5-6. Указанная статья опубликована в: J. E. Faller, W. J. Hollander, P. G. Nelson, and M. P. McHugh Gyroscope-weighting experiment with a null result // Physical Review Letters 1990. V. 64. Issue 8. P. 825-826.

³³⁷ См.: <http://rc.nsu.ru/text/news/Physics/073.htm>

быстро падает». (С ростом энергии протонов, – уточняет академик Э. Кругляков.) Кроме того, в четыре раза интенсивней рассеиваются пучки с одинаковой поляризацией спинов, в противоположность тому, что сообщает Акимов.

Предсказательная сила теории

Акимов предсказывал возможные воздействия торсионных полей на психику людей, однако эксперименты по обнаружению подобных воздействий оказались безрезультатными. Итоговое заключение: «Достоверно известно, что эксперименты в КГБ СССР не дали положительных результатов»³³⁸.

Непротиворечивость новой теории установившимся теориям

В качестве примера приведем цитату Акимова: «В 1986 г. в Москве впервые была передана информация (звук и изображение) торсионным способом. Скорость полета торсионного сигнала в миллиард раз превышала скорость света. Торсионный сигнал мгновенно достигает Луны (радиосигнал туда идет за 10 минут)»³³⁹.

Это и другие положения Акимова противоречат установившимся научным теориям, в частности, данное предложение противоречит невозможности распространения сигнала со скоростью выше скорости света.

Системность

В изложении теории Акимова нет системности, она представляет собой не организованный логически набор предложений.

Итак, в результате тестирования теории торсионных полей было установлено, что она обладает только одним признаком из шести, в то время как требуется обладание, по крайней мере, четырьмя характеристиками, чтобы теория считалась научной. На основании приведенного выше анализа заключаем, что концепция торсионных полей не является научной теорией.

Итак, мы применили полученный критерий к одной из современных концепций и определили ее статус, что показывает работоспособность данного критерия. Выбор данной концепции был обусловлен наличием готовых оценок эксперта в данной области физики – Э.П. Круглякова³⁴⁰. На наш взгляд, решение о наличии той или иной характеристики у теории должно приниматься специалистами.

³³⁸ Там же.

³³⁹ См.: <http://klein.zen.ru/bodhi/ezotera/2001/akimov-01.htm>

³⁴⁰ Были использованы следующие работы: Кругляков Э. П. В поисках истины // Наука в Сибири. 2000. № 34. С.5. Кругляков Э. П. Доклад Комиссии по борьбе с лженаукой и

фальсификацией научных исследований на Президиуме РАН 16 марта 1999 г. // Философия науки. 1999. № 1. С.93-100. *Кругляков Э. П.* Наука и лженаука не могут сосуществовать мирно // Наука и жизнь. 2001. № 12. С.13-17. *Кругляков Э. П.* Науке с лженаукой не по пути // Наука в Сибири. 2000. № 3. С.4. *Кругляков Э. П.* О тайных пружинах торсионной войны // Наука в Сибири. 2000. № 7. С.6. *Кругляков Э. П.* Почему опасна лженаука? // Наука и жизнь. 2002. № 3. С.2-5. *Кругляков Э. П.* "Ученые" с большой дороги. М.: Наука, 2001. *Кругляков Э. П.* Чем угрожает обществу лженаука? // Вестник РАН. 2004. Т.74. № 1. С.8-16. *Кругляков Э. П.* Что же с нами происходит? Новосибирск, 1998.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современной философии науки со времен логического позитивизма доминирует представление о философии как об анализе языка. Многие философские проблемы возникают из-за неопределенности понятий, а решение таких проблем эквивалентно нахождению точного смысла слова. Данное утверждение относится и к фундаментальным философским проблемам: что такое человек? как мы познаем? что мы можем считать непосредственно наблюдаемым? Проблема демаркации науки и ненауки по философским меркам не столь фундаментальна и, скорее, может быть названа частной задачей в рамках философии.

Пытаясь решить проблемы, философы проясняют понятия, используя при этом подходящие к случаю рассуждения и аргументы. В данной книге разработан общий подход к уточнению понятий – метод уточнения нечетких понятий. Основной особенностью метода является то, что он дает возможность избежать спекуляций и умозрительных аргументов и перевести обсуждение на уровень независимых проверок и логического анализа. В частности, критерий научности, построенный по принципу семейного сходства, смещает проблему из области абстрактных рассуждений на более низкий уровень: уровень логической проверки, если требуется установить непротиворечивость или фальсифицируемость, и уровень эмпирических проверок, если требуется установить предсказательную силу и соответствие экспериментальным данным.

В качестве примера применения разработанного метода уточнено одно из нечетких понятий – понятие научности. Проблема демаркации науки и лженауки обсуждалась философами с конца XIX в., но ее обсуждение не привело к согласию. На мой взгляд, причина в следующем: наши представления о том, что считать наукой, часто изменяются, поэтому попытки построить обычный критерий демаркации науки и ненауки оказываются безуспешными.

Как правило, ученые могут отличить научную теорию от ненаучной или обнаружить ошибку в концепции, не нуждаясь ни в каких явно сформулированных правилах. Ученый руководствуется своим опытом, который содержит образцы рассуждений и аргументов, принятых в науке. Сравнивая, даже неосоз-

нанно, с известными ему образцами, ученый может сделать вывод о несоответствии предлагаемой концепции принятым в научной среде нормам и правилам.

В подавляющем большинстве случаев ученые оказываются правы, но имеется несколько примеров, когда новая концепция была столь необычна, что ученые ошибались в своих оценках. Можно указать на неприятие теории множеств, на длительное недоверие к электродинамике Максвелла, на объявление сумасшедшей Марии Кюри, выдвинувшей гипотезу, что радиоактивный распад связан с изменениями в атомном ядре. Интуитивный способ оценки не всегда адекватен, так как в современной науке наиболее продуктивными часто оказываются смелые и неожиданные идеи, зачастую идущие вразрез с традиционными представлениями.

Философ всегда стремится к поиску общего, выделению универсальных правил без исключений. В надежде найти универсальный метод уточнения понятий и точный критерий научности мною и была проделана данная работа. Хочется надеяться, что подобный критерий окажется полезен авторам тех концепций, которые не являются научными на начальном этапе, но могли бы ими стать при дальнейшей разработке.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аббе Э. 84
Авенариус Р. 13
Адлер А. 15
Акимов А. 227-229
Ампер 19, 170, 188-192
Андреев И.Д. 220, 222
Араго 179
Аристарх Самосский 46
Аристотель 9, 11
Белинский В.Г. 219
Бор Н. 68-69
Бунге М. 141, 143-
Бэкон Фр. 11, 34-35
Вайнберг С. 22
Витгенштейн Л. 8, 29, 31-32,
219
Галилей Г. 9–11, 49-56
Гегель Г.В. 219
Гейзенберг В. 13
Гемпель К. 21, 103-116
Гершель У. 97
Гоббс Т. 12
Гудмен Н. 106
Декарт Р. 9, 56
Дюгем П. 77, 101-102
Заде Л. 28
Золин Д.С. 229
Ильин А.И. 219
Кеплер 9, 48, 92-94, 107
Киарамонти 49
Китчер Ф. 125-127
Конт О. 12
Коперник 9, 18, 43-48
Кругляков Э. П. 227, 230
Куайн 102
Кузнецов И.В. 141, 220
Кузьмин Е.Н. 150
Кун Т. 24-26, 76, 140
Лакатос И. 17-24
Лоренц А. 170, 203-207
Льоцци М. 149
Майкельсон 205
Максвелл Г. 76, 81-82
Максвелл Дж. К. 60, 170, 192-
202
Маркс К. 15
Мах Э. 13, 102, 174
Милль Дж. С. 11, 12
Ньютон И. 9, 56, 172, 173-179,
184
Паундт П.Б. 212
Пойа Д. 150
Полани М. 91
Поппер К. 14–17
Птолемей 37-43
Пуанкаре А. 13, 90
Рассел Б. 13
Резерфорд Э. 67-68
Рейхенбах Г. 133
Салмон В. 129, 130
Симанов А.Л. 223-225
Спенсер Г. 12
Спиноза Б. 12
Тагард П. Р. 24
Там А. 228
Томсон Дж. 61-69

Уайтхед А. Н. 53
Фаллер Дж. 229
Фарадей 61, 192
Фейерабенд П. 17, 23, 24, 26–
27, 76, 90, 140
Физо 204
Фицджеральд 203
Флек Л. 143
Фохт В.
Фраассен Б. ван 85-87, 116,
222
Фрейд З. 14
Френель О. 98, 169, 179-187
Фридман М. 174
Хакинг Я. 79-80, 83
Хамфрис П. 128
Хаппер В. 228
Хон Г. 94
Хэнсон Н.Р. 77-79
Чарчланд П. 78
Шипов Г. 228
Шлик М. 13, 73
Эддингтон А. 15
Эйнштейн А. 13, 15, 138, 172,
208-215
Эренхафт Ф. 97
Этвеш Р. 213
Юнг Т. 182

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адекватности условия 104,
- Альмагест 37
- Аномальная прецессия орбиты Меркурия 22
- Астрология 25, 27
- Базисные предложения 74
- Близкодействие 200
- Венский кружок 13
- Верификация 14, 73
- Вероятность
 - индуктивная 111
 - логическая 111
 - событий (probability) 111
 - статическая 111
 - суждений (likelihood) 111
- Взаимодействие 136
- Геделя теорема 13
- Гильберта программы 13
- Гипотеза 158
 - Ампера 189
 - Лоренца-Фицджеральда 205
- Двусмысленность (Ambiguity) индуктивно-статического объяснения 115
- Демаркации критерий 14-27
- Детерминизм 135
- Диамagnetизм 201
- Дифракция 179
- Достаточность 157
- Дюгема-Куайна тезис 20
- Закон 158
 - Вебера 198
 - Кеплера 92, 107, 173, 177
 - Ома 223, 224
 - падения Галилея 223
 - статистический 112
 - Стока 95

- универсальный 103, 105
- эмпирический 224
- игры 30-31
- изоморфизм теорий 142, 221
- инвариантность 128, 143
- индукции метод 34-35
- интуиционизм 13
- класс альтернатив 122
- комета Галлея 21
- контекст 117
- корреляция 132
- критерий унификации 127
- логика вопросов общая 118-121
- Марксизм 15, 21, 22
- Масса частиц 210
- Меркурий 21, 22-23
 - смещение перигелия 213, 214
- Метафизика 26, 75
- методология научно-исследовательских программ 20
- Механизм причинный 136
- Механика Ньютона 146, 212, 223
- Модель 158-159
 - атома Бора 69, 98, 148
 - атома Зоммерфельда 99, 159
 - атома Резерфорда 68, 148
 - атома Томсона 37, 64-69
- Модель геоцентрическая 39
 - Гелиоцентрическая 43
- Модель объяснения
 - дедуктивно-номологическая 100, 103-110
 - индуктивно статическая 100, 110-116
 - прагматическая 100, 116-124
 - случайная 100, 128-129
 - статистически-релевантная 100, 129-134
 - унификационная 100, 125-128
- Необходимость 156
- Неогегельянство, 12
- Непрерывность пространственно-временная 132

Непротиворечивость 163
Несоизмеримость 23
 — диагонали квадрата 138
нечеткие понятия 30
нечеткое множество 28–30
область применения теории 72
 — критерия 217, 226
обобщения принцип 29
объективность 220
объяснение причинное 105
 — вероятностное 110
 — конституивное 137
 — этиологическое 136
объяснительная история 126
объяснительная релевантность 122
объяснительный резерв 125
отношения
 — прагматические 144-148
 — семантические 144, 145-146
 — формальные 144, 145
Парадигма 24
Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена 137
Подход эпистемический 134
 — деятельностный 153
 — модальный 135
 — онтический 136
 — социологический 153
позитивизм 12–14, 75
Поле электромагнитное 209
Полнота 154
Поляризация 184
Постпозитивизм 26, 27
Прагматика формальная 116-118
Предложения наблюдения 14
Предсказательная сила теории 162
Преобразования Лоренца 142
Принцип
 — Гюйгенса-Френеля 179

- индуктивно-статистического объяснения 115
 - интерференции 181
 - общей причинности Рейхенбаха 130-131
 - огибающей 181
 - относительности 44
 - экономии мышления 102
- Причин типы 128
- Проблема наблюдаемости 80-89
- законоподобных утверждений 106
 - Юма 131
- Пропозиция 118
- Пространство абсолютное 173
- Псевдонаука 14, 25
- реализм 13
- реальность 220
- редукция 102-103
- релевантности отношение 122
- рост научного знания 19, 21
- семейные сходства, 8, 28, 30-31
- симметричность объяснения и предсказания 108, 110
- системность 164
- смещение частоты света 215
- соответствие теорий 139, фактам 162
- структура теории 219-226
- тезис структурной идентичности 108
- теоретическая нагруженность 76-80
- теоретически прогрессивный сдвиг проблемы 19,
- теория
- атомистическая 201
 - вещественная теплоты 56-57
 - вопросов 121-123
 - Герца 206
 - кинетическая 57-58
 - Лоренца 206, 216
 - Максвелла 199, 216
 - научная 152, 154
 - Ньютона 22, 216
 - относительности специальная 138
 - отражения Ленинская 220

- полуэмпирическая 225
- поперечных колебаний 183, 187
- Птолемея 37-44
- Френеля 162, 176-187
- электродинамика Ампера 188-191, 216
- электромагнитного поля 194

Теплород 59

Требование полноты свидетельств 113

- максимальной специфичности 114

Увлечения коэффициент 185

Уравнения Максвелла 198, 208

Уран открытие 97

Фальсифицируемость, 15–17

Формализм 13

Формула

- Бодде 106
- Вебера 198
- Гаусса 199
- преобразования координат релятивистские 208

Эйлера теорема 20

Эклектика 151

Эксперимент

- Араго 189
- Био 189
- Лоджа 205
- Майкельсона 186, 211
- Милликена 96
- мысленный Эйнштейна 213
- Рентгена 204
- Эрстеда 189

Экспланандум 103, 111

Эксплананс 103, 111

Эмпириокритицизм 13

Эмпирическая проверка 147

Эмпирическая проверяемость 73-76, 87-89, 161-162

Эпицикл 42

Эфир 173-175, 184, 187, 203, 207, 209

Эффект Доплера 211

Ядро категориальное 221