

Посвящается Луизе, Элизабет и Габриель

TO EXPLAIN THE WORLD



The Discovery of Modern Science

STEVEN
WEINBERG



HARPER

An Imprint of HarperCollinsPublishers

ОБЪЯСНЯЯ МИР



Истоки современной науки

СТИВЕН
ВАЙНБЕРГ

Перевод с английского



Династия



Москва 2016

УДК 001.6
ББК 20г
В14

Переводчик Виктория Краснянская
Научные редакторы Дмитрий Баюк, к. ф.-м. н.;
Владимир Сурдин, к. ф.-м. н.
Редактор Антон Никольский

Вайнберг С.

В14 Объясняя мир: Истоки современной науки / Стивен Вайнберг; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2016. — 474 с.

ISBN 978-5-91671-479-1

Книга одного из самых известных ученых современности, нобелевского лауреата по физике, доктора философии Стивена Вайнберга — захватывающая и энциклопедически полная история науки. Это фундаментальный труд о том, как рождались и развивались современные научные знания, двигаясь от простого коллекционирования фактов к точным методам познания окружающего мира. Один из самых известных мыслителей сегодняшнего дня проведет нас по интереснейшему пути — от древних греков до нашей эры, через развитие науки в арабском и европейском мире в Средние века, к научной революции XVI–XVII веков и далее к Ньютону, Эйнштейну, стандартной модели, гравитации и теории струн.

Эта книга для всех, кому интересна история, современное состояние науки и те пути, по которым она будет развиваться в будущем.

УДК 001.6
ББК 20г

Издание подготовлено при поддержке
Фонда Дмитрия Зимины «Династия»



Династия

Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в 2002 году Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным президентом компании «Вымпелком».

Приоритетные направления деятельности Фонда — поддержка фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение.

«Библиотека Фонда «Династия» — проект Фонда по изданию современных научно-популярных книг, отобранных экспертами-учеными.

Книга, которую вы держите в руках, выпущена под эгидой этого проекта.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети Интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу mylib@alпина.ru.

ISBN 978-5-91671-479-1 (рус.)
ISBN 978-0-06-234665-0 (англ.)

© Steven Weinberg, 2015
© Издание на русском языке, перевод, оформление.
ООО «Альпина нон-фикшн», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	9
--------------------------	---

Часть I ФИЗИКА В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ

1. Материя и поэзия.....	17
2. Музыка и математика.....	31
3. Движение и философия.....	39
4. Эллинистическая физика и техника	49
5. Древняя наука и религия.....	64

Часть II АСТРОНОМИЯ В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ

6. Практическая польза астрономии	77
7. Измерения Солнца, Луны и Земли	86
8. Загадка планет.....	100

Часть III СРЕДНИЕ ВЕКА

9. Арабы	127
10. Средневековая Европа.....	150

Часть IV
НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

11. Решение вопроса о Солнечной системе	175
12. Эксперименты начались	221
13. Переосмысление метода.....	235
14. Обобщения Ньютона	250
15. Эпилог. Великое упрощение.....	295
<i>Благодарности.....</i>	<i>310</i>
<i>Технические замечания</i>	<i>311</i>
<i>Об авторе.....</i>	<i>414</i>
<i>Комментарии</i>	<i>415</i>
<i>Библиография</i>	<i>449</i>
<i>Предметно-именной указатель</i>	<i>459</i>

Вообрази: пока мы тут, гуляя,
С тобой беседовали, дорогая,
За нашу спиной
Ползли две тени, вроде привидений;
Но полдень воссиял над головой
Мы попираем эти тени!

*Джон Донн. Лекция о тени**

* Английская лирика первой половины XVII века. — М.: Изд-во МГУ, 1989.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Я физик, а не летописец, но с годами меня все больше и больше очаровывает история науки. Это необычайно интересная тема, одна из самых захватывающих в истории человечества. Мы, ученые, делаем на нее особую ставку. Те исследования, которые ведутся сегодня, берут свое начало в прошлом, на них ложится ответ достижений предыдущих поколений — история науки вдохновляет ученых в их работе. Каждый из нас надеется внести хотя бы маленький вклад в грандиозную летопись естественной науки.

В своих книгах я много говорил об истории, но это в основном была история развития науки позднейшего времени, начиная со второй половины XIX в. до наших дней. И хотя за этот период мы узнали невероятно много новых фактов, цели и методы физики существенно не изменились. Если бы некоему физику из 1900 г. рассказать о нынешней Стандартной модели, применяемой в космологии или в физике элементарных частиц, он узнал бы много непривычного и удивительного, но сам принцип поиска выраженной на языке математики теории, выводы которой подтверждаются экспериментальным путем и объясняют целые категории явлений, был бы вполне понятен и знаком ему.

Пришло время, и я решил «копнуть глубже», чтобы лучше узнать ранние эпохи научного познания, когда цели и методы физики и астрономии еще не сформировались в нынешнем виде. Следуя естественному для профессора университета пути, для того, чтобы самому узнать что-то новое, я решил заняться преподаванием интересующей меня области знаний как пред-

мета. В Техасском университете за последние десять лет я на протяжении нескольких лет читал курс истории физики и астрономии для студентов старших курсов, не имеющих специальных знаний в области физики, математики или истории. Накопившихся при подготовке заметок мне хватило, чтобы написать эту книгу.

Но по мере того, как книга обретала форму, я увидел, что у меня получается нечто большее, чем простой нарратив: отражение того, как современный ученый воспринимает опыт науки прошедших эпох. В этой работе я пользуюсь возможностью раскрыть свое видение природы физической науки и ее неразрывной связи с религией, техникой, философией, математикой и эстетикой.

В доисторический период существовало что-то вроде науки. Природа все время демонстрировала множество загадочных явлений: огонь, грозы, эпидемии чумы, движение планет, свет, приливы и т. д. Наблюдение за миром вело к полезным обобщениям: огонь горячий, гром предвещает дождь, приливы выше в полнолуние и новолуние и т. д. Эти сопоставления стали частью эмпирических знаний человечества. Но появились люди, которых не удовлетворяло простое коллекционирование фактов. Они хотели объяснить мир.

Это было нелегко. Наши предшественники не только не знали того, что известно нам; что важнее, они не разделяли наши понятия о том, каким образом и что именно следует изучать в природе. Снова и снова, готовясь к очередной лекции моего курса, я поражался тому, насколько отличается методология науки минувших веков от современной. Цитируя знаменитые слова из известного романа Л. Хартли*, «прошлое — это чужая страна; обычаи его обитателей отличаются от наших». Я надеюсь, что мне удастся донести до читателей не только смысл событий, ставших вехами в истории точных наук, но и то, как трудно давались ученым того времени научные достижения.

* Хартли Л. Посредник. — М.: Б.С.Г.-Пресс, 2004.

Таким образом, моя книга не только о том, как мы пришли к пониманию различных явлений и свойств окружающего мира. Любой труд по истории науки рассказывает об этом. Основное внимание в книге сосредоточено на том, как мы научились изучать мир.

Я отдаю себе отчет, что слово «объясняя» в заглавии книги поднимает вопросы, актуальные для философии науки. Они часто указывают на то, что трудно провести четкую границу между объяснением и описанием (мне придется сказать об этом несколько слов в главе 8). Но эта работа скорее по истории науки, а не по ее философии. Под объяснением я имею в виду нечто заведомо неопределенное, примерно то же, что в обычной жизни получается, когда мы пытаемся объяснить, почему лошадь выиграла скачки или почему самолет разбился.

Слово «истоки» в подзаголовке тоже довольно противоречиво. Я размышлял о том, не стоит ли дать книге подзаголовок «Открытие современной науки». В конце концов, не может же наука существовать отдельно от занимающихся ею людей. Тем не менее я выбрал слово «истоки» взамен слова «открытие», чтобы подчеркнуть, что наука такова, как она есть, не в результате цепочки каких-то состоявшихся по счастливой случайности исторических изобретений, а просто потому, что она — естественное отражение природы. Несмотря на все свои несовершенства, современная наука — это способ познания, достаточно точный, чтобы с его помощью устанавливать достоверные факты об окружающем мире. В этом смысле рано или поздно люди должны были эту технику познания открыть.

Таким образом, можно рассуждать об истоках науки примерно так же, как историки рассуждают об истоках сельского хозяйства. Несмотря на свое многообразие и несовершенство, сельское хозяйство работает, поскольку его методика хорошо приспособлена к конечной задаче — выращивать пищу.

Называя так книгу, я хотел бы отмежеваться от немногих оставшихся социальных конструктивистов: тех социологов, философов и историков, которые пытаются объяснить не только

процесс научного познания, но и его результаты особенностями специфической культурной среды.

Из всех отраслей науки наибольший упор в моей книге сделан на физику и астрономию. Причина в том, что именно в физике, особенно в ее приложении к решению астрономических задач, наука впервые обрела свою современную форму. Конечно, есть границы тому, насколько закономерности развития таких наук, как, например, биология, чьи принципы очень тесно связаны с определенной последовательностью исторических случайностей, могут или должны соотноситься с закономерностями физики как с моделью. Тем не менее есть резон рассматривать развитие биологии и химии в XIX и XX вв. в сравнении с моделью революции в физике в XVII в.

Наука сейчас интернациональна и, возможно, является самым общечеловеческим аспектом деятельности современной цивилизации, но зарождение современной науки произошло в той части света, которую можно очень условно обозначить как «Запад». Современная наука пользуется методами, разработанными во времена научной революции в Европе, материалом для которой, в свою очередь, послужили труды европейских и ближневосточных арабских ученых Средних веков, которые, в конечном счете, основывались на рано созревшей науке Древней Греции. Запад заимствовал научное знание из многих источников: геометрию — из Египта, астрономию — из Вавилона, арифметику — из Вавилона и Индии, магнитный компас — из Китая и т. д., но, насколько мне известно, Запад ни у кого не перенял *методы* современного научного познания. Поэтому в моей книге особое значение придается именно Западу (включая средневековый ислам), в противоположность мнению Освальда Шпенглера и Арнольда Тойнби: мне почти нечего сказать о науке в иных частях света и совсем нечего о занятом, но совершенно изолированном развитии культур доколумбовой Америки.

Рассказывая обо всем этом, я неоднократно буду скользить в опасной близости от грани, которую нынешние историки старательно избегают, — суждения о прошлом по стандартам нашего

времени. Это будет повествование без должного почтения. Я не останавливаюсь перед критикой методов и достижений прошлого с позиций нынешнего знания. Мне даже доставило удовольствие отыскать кое-какие ошибки признанных в истории научных авторитетов, ошибки, о которых обычно молчат историки.

Часто случается так, что какой-нибудь историк проводит годы, изучая труды великого человека, и в конце концов поддается искушению чрезмерно превозносить своего героя. Я наблюдал, как такое случалось с теми, кто описывал труды Платона, Аристотеля, Авиценны, Гроссетеста или Декарта. Но это не означает, что я вознамерился обозвать всех философов прошлого дураками. Напротив, показывая, как далеки были эти обладатели великолепного интеллекта от современных концепций науки, я хочу продемонстрировать, как был труден и неочевиден путь к открытию методов научного познания, нынешних общепринятых практик. С другой стороны, это же говорит нам о том, что не стоит считать построение здания науки завершенным. Я неоднократно отмечаю в книге, что, как бы ни впечатлял прогресс методов научного познания, мы и сейчас не застрахованы от повторения ошибок прошлого.

Некоторые историки предпочитают игнорировать современные научные знания, занимаясь описанием работ ученых прошлого. В отличие от них, я активно использую знания нашего дня, чтобы объяснять былые научные концепции. К примеру, было бы очень интересно попытаться понять, как астрономы эпохи эллинизма Аполлоний и Гиппарх, основываясь на доступных им данных, пришли к выводу, что планеты, описывающие петли-эпициклы, движутся вокруг Земли, но это невозможно, поскольку большая часть информации, которой они располагали, утеряна. Но мы точно знаем, что и в древности, и сейчас Земля и все планеты двигались и движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, и, зная это, мы можем объяснить, как наблюдения астрономов древности могли подтолкнуть их к выводу теории эпициклов. Так или иначе, как можно, читая об астрономии древних, не принимать во внимание наши современные знания об устройстве Солнечной системы?

Для тех читателей, которые хотели бы лучше понять, насколько работы ученых прошлого соответствуют современным научным знаниям, в конце книги имеется раздел «Технические замечания». Чтобы понимать основной текст книги, читать их не обязательно, но читатели этих замечаний могут открыть для себя интересные факты из области физики и астрономии, как это случалось и со мной в процессе работы над книгой.

Наука сегодня совсем не та, какой она была на заре своего становления. Ее достижения не связаны с конкретными личностями. Вдохновение и эстетическое чувство важны в тот момент, когда рождается новая научная теория, но устоит ли теория, зависит от того, насколько ее предсказания подтвердятся в беспристрастно проводимой серии экспериментов. Несмотря на то что математика используется для формулирования физических теорий и понимания их следствий, вся наука не является подмножеством математики, и нет способа выводить научные теории из голой математики. Наука и техника идут рука об руку и извлекают взаимную пользу, но на фундаментальном уровне ученые не занимаются исследованиями в прикладных целях. Хотя у науки нет какого-либо ответа на вопросы о существовании Бога и загробной жизни, ее задача — поиск объяснений явлениям природы, которые имеют исключительно естественные причины. Наука имеет свойство накапливать знания; каждая вновь создаваемая теория включает успешно доказанные более ранние теории как частные случаи и даже обязана объяснять, почему и в каких условиях выводы этих теорий справедливы.

Ничего из сказанного выше не являлось очевидными фактами для ученых Древнего мира или Средних веков и приобрело силу фактов с огромным трудом лишь в результате научной революции XVI–XVII вв. Никто не ставил перед собой цель когда-либо создать то, что мы называем современной наукой. Так как же вышло, что научная революция состоялась, и какой путь развития прошла наука после нее? Вот что мы попытаемся узнать, изучая историю становления современной науки.

ЧАСТЬ I

ФИЗИКА В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ

Задолго до и в процессе расцвета науки в Древней Греции существенный вклад в технику, математику и астрономию внесли вавилоняне, китайцы, египтяне, индийцы и представители других народов. Тем не менее именно Греция осветила путь будущего развития науки и явилась образцом для остальной Европы, и именно Европа стала колыбелью современной науки, в формировании которой древнегреческие мыслители сыграли особую роль.

Можно до бесконечности спорить о том, как получилось, что именно древние греки достигли таких высот знания. Возможно, свою роль сыграло то, что зачатки науки появились тогда, когда древнегреческая цивилизация складывалась из независимых городов-государств, многие из которых были демократическими. Но, как мы увидим, самые выдающиеся открытия греки совершили уже тогда, когда эти маленькие государства оказались поглощены великими империями: эллинистическими царствами, а позже — Римом. Греки эпохи эллинизма и римского господства добились таких успехов в естествознании и математике, которые никто не смог преодолеть до самой научной революции XVI–XVII вв. в Европе.

В этой части моей работы я расскажу о том, как древнегреческая наука отражала физическую картину мира. Об астрономии мы поговорим во второй части. В каждой из пяти глав, на которые поделена первая часть, вы в более или менее хронологическом порядке познакомитесь с пятью направлениями познания, с которыми наука пришла в согласие: поэзией, математикой, философией, техникой и религией. К теме взаимоотношений науки с этими пятью родственными направлениями мы будем возвращаться вновь и вновь.

Материя и поэзия

Мысленно перенесемся в прошлое. К VI в. до н. э. западное побережье нынешней Турции уже было заселено греками, говорившими преимущественно на ионийском диалекте. Самым богатым и мощным среди ионийских городов был Милет, основанный в естественной гавани при впадении реки Меандр в Эгейское море. В Милете на столетие раньше Сократа греческие мыслители стали рассуждать о природе первичной субстанции, из которой создан мир.

О милетцах я впервые узнал на старших курсах Корнелльского университета, когда занимался историей и философией науки. В лекциях милетцев называли «физиками». Одновременно я прослушал курс физики, в том числе современную атомистическую теорию строения вещества. Мне казалось, что между учением милетцев и нынешней физикой очень мало общего. Не то чтобы они были совершенно неправы в своих заключениях о строении вещества, скорее, я не понимал, как именно они могли прийти к ним. Исторических свидетельств о том, как греческие мыслители рассуждали в доплатоновскую эпоху, очень мало, но я был практически уверен, что ни милетцы, ни другие древнегреческие естествоиспытатели архаического и классического периодов (примерно от 600 до 450 г. до н. э. и от 450 до 300 г. до н. э.) не могли рассуждать так же, как это делают нынешние ученые.

Первым из философов Милета, о котором сохранились сведения, был Фалес, живший за двести лет до Платона. Предполага-

ется, что ему удалось предсказать солнечное затмение, которое, по современным данным, произошло в 585 г. до н. э. и наблюдалось в Милете. Даже если бы Фалес пользовался вавилонскими хрониками солнечных затмений, маловероятно, что он смог бы сделать это предсказание, потому что солнечное затмение можно наблюдать лишь в небольшом географическом регионе, но тот факт, что предсказание именно этого затмения приписывают Фалесу, говорит о том, что, вероятно, он жил и работал в начале VI в. до н. э. Мы не знаем, записывал ли Фалес свои мысли. Так или иначе, ничего из того, что он мог написать, не сохранилось даже в цитатах позднейших авторов. Он является скорее персонажем из области преданий, тем, кого во времена Платона было принято считать одним из «семерых мудрецов» Греции (наравне с его современником Солоном, которому приписывается создание конституции Афин). Например, считалось, что Фалес доказал или позаимствовал у египтян доказательство знаменитой геометрической теоремы (см. техническое замечание 1). Для нас важно то, что в заслугу Фалесу ставят идею о том, что любое вещество состоит из единой первичной субстанции. В «Метафизике» Аристотеля говорится: «Из тех, кто первые занялись философией, большинство считало началом всех вещей одни лишь начала в виде материи: то, из чего состоят все вещи... [...] Фалес — родоначальник такого рода философии — считает его [начало] водою...»¹ Гораздо позже, около 230 г., жизнеописатель древнегреческих философов Диоген Лаэртский писал: «Началом всего он полагал воду, а мир считал одушевленным и полным божеств»².

Имел ли в виду Фалес, говоря, что «всеобщей первичной субстанцией» является вода, что все вещество состоит из воды? Если это так, то мы не можем сказать ничего о том, как он пришел к такому выводу, но если считать, что все вещество имеет единую первооснову, то вода не так уж плоха в этой роли. Вода может быть не только жидкой: замерзая, она, легко переходит в твердое состояние или превращается в пар в процессе кипения. Также очевидно, что без воды не может быть жизни. Но мы

не знаем, считал ли Фалес, что, к примеру, камни тоже состоят из обыкновенной воды, или лишь видел что-то значительное в том, что камни и другие твердые тела имеют много общего с замерзшей водой.

У Фалеса был друг и ученик по имени Анаксимандр, который пришел к иному заключению. Он тоже считал, что существует единая фундаментальная субстанция, но Анаксимандр не сопоставлял ее с каким-либо обычным веществом. Вместо этого он полагал, что такой субстанцией является нечто, которое он называл «бесконечным» или «беспредельным». Его взгляды дошли до нас в изложении Симпликия Киликийского, философа-неоплатоника, жившего примерно тысячу лет спустя. В своем труде «Комментарий к “Физике» Аристотеля» Симпликий приводит фразу, которая, вероятно, является изложением слов самого Анаксимандра:

«Из полагающих одно движущееся и бесконечное [начало] Анаксимандр, сын Праксиада, милетец, преемник и ученик Фалеса, началом и элементом сущих [вещей] полагал бесконечное, первым введя это имя начала. Этим [началом] он считает не воду и не какой-нибудь другой из так называемых элементов, но некую иную бесконечную природу, из которой рождаются небосводы [миры] и находящиеся в них космосы. “А из каких начал вещам рождение... назначенный срок времени...”», как он сам говорит об этом довольно поэтическими словами. Ясно, что, подметив взаимопревращение четырех элементов, он не счел ни один из них достойным того, чтобы принять его за субстрат [остальных], но [признал субстратом] нечто иное, отличное от них»³.

Несколько позднее другой милетец, Анаксимен, возвратился к идее о том, что все создано из некой единой простой субстанции, но, с его точки зрения, это была не вода, а воздух. Он написал книгу, от всего содержания которой сохранилось одно единственное предложение: «Подобно тому как душа... будучи

воздухом, сдерживает нас, так дыхание и воздух объемлет весь мир»⁴.

На Анаксимене цепочка преемственности философов из Милета заканчивается. С 550-х годов до н. э. Милет и другие ионийские города попадают под власть растущего Персидского царства. В 499 г. до н. э. жители Милета подняли восстание против персов, но потерпели поражение, и город оказался разорен. Впоследствии он возродился как важный центр древнегреческой цивилизации, но никогда больше не становился центром греческой науки.

После Милета размышления о природе материи были продолжены философами-ионийцами из других областей. Предположительно, землю считал первичной субстанцией Ксенофан, который родился около 570 г. до н. э. в ионийском Колофоне, а впоследствии переехал в южную Италию. В одной из его поэм есть строка: «Из земли все [возникло], и в землю все обратится в конце концов»⁵. Впрочем, не исключено, что это был всего лишь его вариант известной фразы, которую испокон веков говорят на похоронах: «Земля к земле, прах к праху». Мы снова вернемся к наследию Ксенофана, когда будем говорить о религии, в главе 5.

В расположенном недалеко от Милета Эфесе около 500 г. до н. э. Гераклит учил, что первоосновой всего является огонь. Он также написал книгу, дошедшую до нашего времени отдельными фрагментами. В одном из них говорится: «Этот космос⁶, один и тот же для всех, не создал никто из богов, никто из людей, но он всегда был, есть и будет вечно живой огонь, мерно возгорающийся, мерно угасающий»⁷. Также Гераклит подчеркивал непрерывность изменений в природе, так что для него естественно было принимать за главный элемент всегда мятущийся огонь, проводник перемен, а не более косные землю, воздух или воду.

Классический взгляд на то, что вещество состоит не из какого-то одного, а сразу из четырех элементов — воды, воздуха, земли и огня, — вероятно, восходит к Эмпедоклу. Он жил

на Сицилии в городе Акрагасе, ныне известном как Агридженто, в начале V в. до н. э. и был практически единственным известным в том раннем периоде древнегреческим философом не ионийского, а дорийского происхождения. Эмпедокл написал две гекзаметрические поэмы, многие части которых сохранились. В поэме «О природе» мы находим: «Как от смешенья Воды, Земли, Эфира и Солнца // Родились [многообразные] формы и окраски смертных [существ]»⁸, а также: «Огнем, Водой, Землей и несметной высью Эфира, // Проклятая Ненависть порознь от них [= элементов], совершенно уравновешенная, // И Любовь в них, равная в длину и ширину»⁹.

Возможно, что Эмпедокл и Анаксимандр использовали понятия «любовь», «ненависть», а также «справедливость» и «несправедливость» лишь как метафоры порядка и беспорядка, примерно в том же духе, как Эйнштейн, бывало, употреблял слово «бог» в качестве метафоры еще непознанных законов природы. Но нам не следует пытаться втиснуть слова досократиков в тесные рамки современных интерпретаций. Как мне кажется, появление в рассуждениях о сути природы категорий человеческих эмоций, таких как любовь и ненависть у Эмпедокла, или таких, как справедливость и воздаяние у Анаксимандра, — лишь свидетельство той пропасти, которая разделяет образ мысли древних досократиков и современных ученых-физиков.

Все досократики, начиная с Фалеса и кончая Эмпедоклом, по всей видимости, считали первичные элементы сплошными недифференцированными средами. Иной взгляд на природу вещества, более близкий к современным представлениям, был позднее высказан мыслителями из Абдер, города на побережье Фракии, основанном беженцами из ионийских городов, после того как их восстание против Персии, начавшееся в 499 г. до н. э., было подавлено. Первым из известных философов-абдеритов был Левкипп, который известен благодаря одному единственному высказыванию в духе детерминизма: «Ни одна вещь не происходит попусту, но все на [некотором] основании и по необходимости»¹⁰. Гораздо больше известно о последова-

теле Левкиппа Демокрите. Он родился в Милете, путешествовал в Вавилон, Египет и Афины и в конце концов поселился в Абдерах в конце V в до н. э. Демокрит писал труды по этике, естествознанию, математике и музыке, до нашего времени дошли многие из этих книг. В одной из них он утверждает, что все вещество состоит из мельчайших неделимых частиц, которые называются *атомами* (от др.-гр. ατομος — неделимый, неразрезаемый), движущихся в пустом пространстве: «Во мнении сладкое, во мнении горькое, во мнении теплое, во мнении холодное, во мнении цветное, в действительности же атомы и пустота»¹¹.

Как и современные ученые, ранние греческие мыслители намеревались проникнуть сквозь поверхностные представления о мире, пытаясь заглянуть вглубь реальности. Сущность мира невозможно определить с первого взгляда, из чего бы он ни состоял: из воды, из воздуха, из земли, из всех четырех стихий или даже из атомов.

Парменид из Элеи, который вызывал восхищение у Платона, дошел до крайности в своих поисках тайных смыслов. Элея (современное название Велія) — город в южной части Италии. В начале V в. до н. э. Парменид, в противовес Гераклиту, учил, что постоянная изменчивость и разнообразие природы являются иллюзией. Эти идеи отстаивал его ученик Зенон из Элеи, которого не следует путать с другим Зеноном, так называемым Зеноном-стойком. В своем сочинении «Апории» Зенон описывал некоторое количество парадоксальных утверждений, доказывающих невозможность движения. Например, чтобы пробежать всю беговую дорожку стадиона, вначале необходимо покрыть половину расстояния, потом — половину от оставшегося, и так до бесконечности. Таким образом, пробежать всю беговую дорожку невозможно. Насколько мы можем судить из дошедших до нас отрывков, по тем же самым причинам Зенону казалось, что невозможно путешествовать на какое-либо заданное расстояние, следовательно, движения вообще не существует.

Конечно, аргументация Зенона неверна. Как позже укажет Аристотель¹², нет никаких причин, которые мешают нам совер-

шить бесконечное количество шагов в определенное время при условии, что время, необходимое для каждого последующего шага, уменьшается достаточно быстро. Действительно, бесконечный ряд типа $1/2+1/3+1/4\dots$ дает бесконечную сумму, но бесконечный ряд типа $1/2+1/4+1/8\dots$ дает конечную сумму, которая в данном случае равна 1.

Гораздо более поразительно не то, насколько Парменид и Зенон были неправы, а то, почему же они не удосужились объяснить, по какой причине, если движения не существует, вещи выглядят движущимися. На самом деле ни один из древнегреческих мыслителей от Фалеса до Платона — ни из Милета, ни из Абдер, ни из Элеи, ни из Афин — никогда не брал на себя труд детально объяснить, как его теория конечной, истинной реальности соотносится с восприятием вещей.

Это вовсе не было умственной ленью, а, скорее, чем-то вроде склонности ранних греков к интеллектуальному высокомерию, которое привело их к решению, что не стоит стремиться к пониманию явлений окружающего мира вообще. Это лишь первый из примеров подобного отношения, нанесшего большой вред познанию в истории науки. В разные времена считалось, что круговые орбиты более совершенны, чем эллиптические, что золото — более благородный металл, чем свинец, и что человек — существо высшего порядка по сравнению с его собратьями-обезьянами.

Может быть, мы и сейчас совершаем подобные ошибки, обходя вниманием какие-то возможности научного прогресса, потому что игнорируем некие явления, считая их недостойными нашего внимания? Нельзя быть уверенным, но я думаю, что не совершаем. Конечно, невозможно исследовать все, но мы выбираем задачи, которые, по нашему мнению, правильному или ошибочному, дают лучшие перспективы для научного осмысления. Биологи, изучающие хромосомы или нервные клетки, работают с такими животными, как мухи-дрозофилы и кальмары, а не с орлами или львами. Физиков, исследующих элементарные частицы, иногда обвиняют в снобистском и очень

дорогом увлечении, требующем использования самых высоких энергий, которые можно достигнуть. Но только при высоких энергиях мы можем создавать и изучать гипотетические частицы большой массы, например, частицы так называемой темной материи, которая, по мнению астрономов, составляет 5/6 вещества во Вселенной. В любом случае мы уделяем достаточно внимания и изучению явлений, наблюдаемых при низких энергиях, как, например, определение массы нейтрино, составляющей миллионную долю массы электрона.

Делая критические замечания по поводу досократиков, я вовсе не имею в виду, что априорная аргументация не присутствует в науке. Сегодня, например, мы ожидаем, что фундаментальные физические законы удовлетворяют принципам симметрии, то есть что физические законы не изменятся, если мы неким определенным образом изменим систему отсчета. Точно так же как принцип неизменности Парменида, некоторые из этих законов симметрии не проявляют себя непосредственно в физических явлениях — считается, что они могут спонтанно нарушаться. Это значит, что уравнения наших теорий обладают определенной простотой, касающейся, например, некоторых свойств разных видов элементарных частиц, но эта простота не присуща решениям уравнений, а именно они-то и описывают реальные явления. Как бы то ни было, в отличие от приверженности Парменида принципу неизменности мира, априорное предположение о существовании фундаментальной симметрии законов природы симметрии появилось в результате многолетних экспериментов, проводимых в поисках физических законов, описывающих реальный мир. Существование как спонтанно нарушенных, так и не нарушенных видов симметрии доказано экспериментами, которые подтверждают следствия этих нарушений и сохранений. Субъективные суждения, которыми мы руководствуемся в человеческих отношениях, здесь никак не задействованы.

Начиная с Сократа, родившегося в конце V в. до н. э., и — всего на сорок лет позже — Платона, центр греческой интеллектуальной жизни переносится в Афины, один из немно-

гих городов-государств ионических греков непосредственно на греческой земле. Практически все, что мы знаем о Сократе, нам известно из диалогов Платона. Кроме того, он выступал как комический персонаж в комедии Аристофана «Облака». По всей видимости, не осталось никаких записей идей Сократа. Насколько мы можем судить по тому, что до нас дошло через вторые руки, этот мыслитель не слишком интересовался естественными науками. В диалоге Платона «Федон» Сократ вспоминает, как он был разочарован, прочтя книгу Анаксагора (более подробно я расскажу о нем в главе 7), потому что Анаксагор описывал Землю, Солнце и Луну чисто физическими терминами, не говоря ничего о том, какое из этих тел хуже, а какое лучше¹³.

Платон, в отличие от своего кумира Сократа, был афинским аристократом. Он является первым греческим философом, большое количество письменных источников которого сохранилось. Платона, как и Сократа, куда больше интересовали проблемы рода человеческого, чем природа вещей. Он надеялся сделать политическую карьеру, которая позволила бы ему воплотить свои утопические и антидемократические идеи на практике. В 367 г. до н. э. Платон получил приглашение от Дионисия II приехать в Сиракузы и оказать помощь в реформировании правительства, но, к счастью для жителей Сиракуз, этого так и не случилось.

В одном из своих диалогов, «Тимее», Платон свел вместе мысли о четырех основополагающих элементах с абдерским понятием атомов. Платон считал четыре элемента Эмпедокла состоящими из частиц, имеющих форму четырех из пяти правильных многогранников, известных из математики. Это тела, грани которых представляют собой многоугольники, с одинаковыми ребрами, образующими в вершинах одинаковые телесные углы (см. техническое замечание 2). Например, один из таких правильных многогранников — куб, грани которого являются одинаковыми квадратами и в каждой вершине встречается по три квадрата. Платон полагал, что атомы земли имеют форму куба. Другие правильные многогранники — это тетраэдр (пирамида с четырьмя треугольными гранями), восьмигранный окта-

эдр, двадцатигранный икосаэдр и двенадцатигранный додекаэдр. Платон предполагал, что атомы огня, воздуха и воды имеют соответственно формы тетраэдра, октаэдра и икосаэдра. Оставался додекаэдр, который, по мнению Платона, лежал в основе стихии *космоса*. Позже Аристотель представил пятый элемент — *эфир* (или *квинтэссенцию*), заполняющий, как он считал, пространство за орбитой Луны.

Обычно, когда описывают эти ранние размышления, касающиеся природы вещества, подчеркивают, что они послужили прообразом современной науки. Особенно принято восхищаться Демокритом: в Греции даже есть университет, названный его именем. В самом деле, попытки определить основные составляющие вещества продолжались тысячелетиями, хотя время от времени состав элементов менялся. К началу нового времени алхимики выделяли три основополагающих элемента: ртуть, соль и серу. Современное понятие о химических элементах появилось в период революционных преобразований в химии, инициированных Пристли, Лавуазье, Дальтоном и другими учеными в конце XVIII в. Сейчас насчитывается 92 элемента естественного происхождения, от водорода до урана (включая серу и ртуть, но не соль). К тому же постоянно растет перечень искусственно созданных элементов тяжелее урана. В нормальных условиях чистый химический элемент состоит из атомов одного и того же вида, элементы отличаются друг от друга по типу атомов, из которых они состоят. Сегодня мы изучаем элементарные частицы, из которых состоят атомы химических элементов, но, тем или иным образом, мы продолжаем поиск основополагающих составляющих природы, начатый в Милете.

Тем не менее я считаю, что нельзя преувеличивать современное значение архаической или классической греческой науки. В современной науке есть важная особенность, которая полностью отсутствует у всех упомянутых мною мыслителей от Фалеса до Платона: никто из них не пытался доказать или хотя бы (кроме разве что Зенона) серьезно подтвердить свои предположения. Читая их записи, постоянно задаешь один

и тот же вопрос: «А откуда вы знаете?» Это относится как к Демокриту, так и ко всем остальным. Нигде в отрывках его работ, которые дошли до нас, мы не видим ни одной попытки показать, что вещество действительно состоит из атомов.

Идеи Платона о пяти элементах — это хороший пример его безразличного отношения к подтверждению своих гипотез. В «Тимее» он начинает не с правильных многогранников, а с треугольников, которые он предлагает соединить вместе в форме многогранника. О каких треугольниках идет речь? Платон предлагает взять прямоугольный равнобедренный треугольник с углами 45° , 45° и 90° и прямоугольный треугольник с углами 30° , 60° и 90° . Квадраты, формирующие кубический атом земли, могут быть составлены из двух равнобедренных прямоугольных треугольников, а треугольные грани тетраэдра, октаэдра и икосаэдра, представляющих атомы огня, воздуха и воды (в указанном порядке), могут быть составлены из двух других прямоугольных треугольников. (Додекаэдр, таинственным образом представляющий космос, не может быть собран таким способом.) Объясняя свой выбор, Платон пишет: «Что ж, если кто-нибудь выберет и назовет нечто еще более прекрасное, предназначенное для того, чтобы создавать эти [четыре тела], мы подчинимся ему не как неприятелю, но как другу; нам же представляется, что между множеством треугольников есть один, прекраснейший, ради которого мы оставим все прочие, а именно тот, который в соединении с подобным ему образует третий треугольник — равносторонний. Обосновывать это было бы слишком долго (впрочем, если бы кто изобличил нас и доказал обратное, мы охотно признали бы его победителем)»¹⁴. Я могу себе представить, как бы отреагировали мои коллеги сегодня, если бы я в статье по физике выдвинул новую гипотезу о строении вещества, написав, что объяснять, как я дошел до нее, слишком долго, и предложив им опровергнуть мое предположение, если они считают его неверным.

Аристотель называл ранних греческих мыслителей *физиологами*, что иногда переводят как «физики»¹⁵, но это совершенно

неправильный перевод. Слово «физиологи» (от др.-гр. φύσις) просто обозначает тех, кто изучает природу, у древних греков очень мало общего с сегодняшними физиками. В их теориях нет никакой физической изюминки. Эмпедокл мог строить предположения об элементах, а Демокрит — об атомах, но их соображения не несут новой информации о природе, не говоря уж о том, что из их теорий не делалось никаких проверяемых выводов.

Мне кажется, что для того, чтобы правильно понимать ранних греческих мыслителей, лучше воспринимать их не как физиков, не как ученых и даже не как философов, а как поэтов.

Я должен объяснить, что имею в виду поэзию в узком смысле этого слова — как язык, в котором используются такие словесные приемы, как размер, ритм и аллитерация. Даже в этом смысле Ксенофан, Парменид и Эмпедокл были поэтами. После дорийского вторжения и окончания бронзовой эры Микенской цивилизации в XII в. до н. э. греки, по большей части, стали неграмотными. При отсутствии письменности стихи стали практически единственным способом, с помощью которого люди могли оставить свое послание следующим поколениям, поскольку они запоминаются намного легче, чем проза. Греки оставались неграмотными примерно до 700 г. до н. э. Новый алфавит, заимствованный у финикийцев, был впервые использован Гомером и Гесиодом, чтобы записать, опять-таки, стихи, часть из которых брала свое начало в надолго запомнившихся темных временах Греции. Проза появилась позднее.

Даже те ранние греческие философы, которые писали прозой, как Анаксимандр, Гераклит и Демокрит, приспособливали свои строки к поэтическому стилю. Цицерон говорил о Демокрите, что он более поэтичен, чем многие поэты. Платон в юности хотел стать поэтом, и хотя он писал прозой и жестоко обрушился на поэзию в своем «Государстве», его литературный стиль всегда вызывал восхищение.

Здесь я имею в виду поэзию в более широком смысле: слова используются скорее для эстетического эффекта, чем для того, чтобы ясно сказать, что же действительно имеется в виду. Когда

Дилан Томас пишет, что «Та сила, что цветы сквозь зелень подожжет, // Творит и зелень юности моей»¹⁶, мы не рассматриваем эти строки как серьезное положение об унификации сил в ботанике и зоологии и не ищем ей никакого подтверждения; мы (по крайней мере, я) воспринимаем ее скорее как выражение грусти по поводу подступающей старости и смерти.

Иногда становится понятно, что Платон не намеревался говорить обо всем буквально. Один из примеров этого — уже упомянутая исключительно слабая аргументация того, что он выбирает именно два треугольника как основу всей материи. Если взять еще более явный пример, в «Тимее» Платон рассказывает историю Атлантиды, которая якобы процветала за тысячи лет до времени его собственного существования. Платон не мог серьезно полагать, что он действительно знал о чем-то, происходившем тысячи лет назад.

Я не хочу сказать, что ранние греческие мыслители выбрали поэтическую форму для своих записок, чтобы им не надо было доказывать свои теории. Они просто не чувствовали необходимости в каких-либо доказательствах. Сегодня мы проверяем наши предположения о природе, используя выдвинутые теории, чтобы прийти к более или менее точным умозаключениям, которые можно проверить наблюдением. Ранние греческие мыслители и их многочисленные последователи этого не делали по одной простой причине: *они никогда не видели, как это делается.*

Можно найти различные свидетельства того, что ранние греческие мыслители продолжали сомневаться в своих собственных теориях, даже когда они хотели, чтобы их принимали всерьез, и они чувствовали недостаточность своих знаний для познания недостижимого. Один пример этого я привел в своей монографии (написанной в 1972 г.) по общей теории относительности. В начале главы, рассказывающей о космологических представлениях, я процитировал несколько строк из Ксенофана: «Истины точной никто не узрел и никто не узнает // Из людей о богах и о всем, что я только толкую: // Если кому и удастся вполне

сказать то, что сбылось, // Сам все равно не знает, во всем лишь догадка бывает»¹⁷. В том же духе в своей работе «О разнице форм» Демокрит отмечает: «На самом деле мы ничего не знаем точно» и «Многими способами показано, что мы на самом деле не знаем, чем являются или не являются вещи».

В современной физике сохранился некий поэтический элемент. Мы не пишем свои работы стихами, большая часть написанного физиками едва дотягивает до уровня прозы. Но в наших теориях мы ищем красоту и используем эстетические рассуждения как ключ в исследованиях. Некоторые из нас считают, что это работает потому, что сотни лет удач и провалов в физических исследованиях научили нас предугадывать определенные законы природы. Благодаря этому опыту мы можем чувствовать, что проявления законов природы красивы¹⁸. Но мы никогда не приводим красоту теории как убедительное доказательство ее верности.

Например, теория струн, которая описывает различные взаимодействия элементарных частиц как разного рода колебания микроскопических струн, очень красива. Она имеет достаточно последовательное математическое обоснование, таким образом, ее содержание не произвольно, а в значительной степени подтверждается с помощью математического аппарата. К тому же в этой теории есть красота настоящего произведения искусства — сонета или сонаты. Но, к сожалению, теория струн так и не получила ни одного экспериментального доказательства, поэтому физики-теоретики (по крайней мере большинство из нас) не могут сказать однозначно, приложима ли эта теория к реальности. Это то самое требование подтверждения, которое так часто отсутствует в произведениях поэтов, изучающих природу, от Фалеса до Платона.