

ВИЗУАЛЬНОЕ МЫШЛЕНИЕ В ФИЗИКЕ И МАТЕМАТИКЕ В АНТИЧНОСТИ

Максим Жук¹

Abstract

The objective of the paper is to discuss problems of visualization of knowledge in natural sciences such as mathematics and physics. We will start from introducing the concept of visual thinking proposed by a perceptual psychologist Rudolf Arnheim. Then we will shortly mention its modern role. Since the 18–19 cc. visual thinking has been separated from the scientific field and it has been banned to use it as an intellectual instrument in research processes. But we will show that this was not the point in the previous periods of natural sciences history. We will prove using mathematics and physics context that in ancient Greece visual thinking often guided researches and played an important role in the cognitive process. We will also describe how the role of visual thinking evolves. Our attention would be directed to natural philosophy of ancient Greece. We will discuss ancient math foundation theories and briefly outline their connection with some modern physical theories. Then we will in detail discuss the way visual thinking manifests itself in the theories of Greek atomists.

Keywords: visual thinking, science visualization, ancient Greece, physics, mathematics, atomism.

Введение

Проблема наглядности и визуализации в естественных науках находится среди наиболее противоречивых и малоисследованных тем. С одной стороны, естественные науки претендуют на предельную объективность и независимость от подверженного искажениям человеческого взгляда. С другой стороны, наука часто позиционируется как способ заглянуть в мир невидимого: увидеть бозон Хиггса с помощью коллайдера, далёкие галактики с помощью телескопа Хаббла, изобразить крупномасштабную структуру вселенной, описать, какой она была в прошлые эпохи, и т. д. – всё это претензии и задачи науки.

В данной работе мы предполагаем, что роль *визуального* более значима, чем обычно допускается, и визуальная метафора в истории естествознания нередко являлась онтологическим каркасом, вокруг которого выстраивалась научная теория. Можно сказать, что визуальный опыт побуждал к тем

¹ Максим Жук – магистр социологии, докторант философии, Европейский гуманитарный университет (г. Вильнюс, Литва).

или иным идеям. Это особенно отчётливо проявляется в математике и физике. Например лингвист и математик Владимир Успенский пишет, что математическая интуиция, а следовательно, и само познание математической реальности зиждется на опыте, данном в ощущениях,² и, следовательно, в большей степени на зрительной интуиции, которая вдохновляет образное мышление. Таким же образом и физика является зачастую продолжением такой интуиции, которая основана не только на прямом наблюдении, но и на способности разума наделять визуальным выражением нечто невидимое.

Однако до сих пор история и философия науки мало уделяли внимания роли, которую изображения играли (и продолжают играть) в физических и математических теориях. Более или менее этот вопрос изучен лишь в отношении одной из двух великих теорий начала XX века – квантовой механики как теории, в которой в наибольшей степени проявился конфликт между привычным для человека опытом восприятия действительности и экспериментальными данными.³ Квантовая механика не единственный пример того, когда наглядность обсуждаемой теории играет важную роль в истории науки или в качестве основы когнитивной деятельности выступает *визуальное мышление* (термин, введённый психологом и искусствоведом Рудольфом Арнхеймом для описания познавательной умственной деятельности, оперирующей иконическими знаками)⁴. Визуальное мышление важно не только потому, что позволяет мыслить проблемы науки, используя естественные для нас образы, но и потому, что оно может делать науку привлекательной, а следовательно, и убедительной. Примеры такой визуализации приводит физик Линде⁵ и анализирует искусствовед Джеймс Элкинс⁶.

В этой работе мы проиллюстрируем, как два типа мышления – оперирующее иконическими знаками (то есть *визуальное мышление*) и основанное на абстрактных символических преобразованиях (напр. математические формулы) – тесно переплетаются и дополняют друг друга в процессе познания реальности. В рамках нашего обзора мы затронем некоторые моменты из истории физики и математики Древней Греции и попытаемся обсудить, какие особен-

² Успенский В.А. *Семь размышлений на темы философии математики. Закономерности развития современной математики*, Москва: Наука 1987, 106–155 (с учётом поправок, внесённых автором); см. также: [Электронный ресурс] Точка доступа: http://a-bugaev.chat.ru/uspensky.html#_ftn1. Дата доступа: 17.06.2013.

³ См., напр.: Бранский В.П. *Философское значение “проблемы наглядности” в современной физике*, 2-е изд, Москва: Книжный дом «Либроком» 2010.

⁴ Арнхейм Р. *Новые очерки по психологии искусства*, Перев. с англ. Г.Е. Крейдлина, Москва: Прометей 1994, 153–173.

⁵ Линде А.Д. *Многоликая Вселенная*. Транскрипт публичной лекции. ФИАН, 2007. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://elementy.ru/lib/430484>. Дата доступа: 13.08.2012.

⁶ Элкинс Дж. *Исследуя визуальный мир*, Перев. с англ. А. Денищик [и др.], Вильнюс: Европ. гуманитар. университет 2010, 149–166.

ности, коренящиеся в самом принципе визуального мышления, в будущем явились причиной стремления отойти от визуальности. Объём статьи, к сожалению, не позволяет рассмотреть важные тенденции из истории новоевропейской и современной науки, поэтому мы ограничимся лишь Античностью, однако по необходимости будем прибегать к комментариям, отсылающим и к более позднему периоду времени.

Визуальное мышление в Античности

Роль *визуального* в науке в период её становления была крайне значимой. Это объясняется тем, что естественная наука зародилась как обобщение наблюдений за реальным миром⁷, и потому ранние модели мира соответствовали чисто визуальному опыту. Так, понятие материи связывалось с ясным образом, например, воды или воздуха, которые могли, сгущаясь или разжижаясь, образовывать различные вещества⁸, а не с абстрактной энергией, невидимыми полями и частицами, что характерно для современности. В целом, вся физика древности говорила либо о видимых объектах и явлениях, либо о таких, которые можно легко вообразить. Предшественницей физики можно считать математику, которая понималась как непосредственная часть физического мира.⁹ При этом греки, по видимому, были первыми среди тех, кто осознал фундаментальные отличия между физикой и математикой, хотя и не вполне отчётливо. Аристотель пишет:

«После того как нами определено, в скольких значениях употребляется [слово] “природа”, следует рассмотреть, чем отличается математик от физика. Ибо природные тела имеют и поверхности, и объёмы, и длины, и точки, изучением которых занимается математик»¹⁰.

Аристотель пишет о различиях, но при этом считает, что физические тела состоят из точек и поверхностей. Далее Аристотель упоминает оптику, учение о гармонии и астрономию как наиболее «физические из математических наук»¹¹. Современному читателю такая классификация кажется достаточно странной. Однако стоит вспомнить, что даже в XX веке известный математик Харди считал теорию относительности разделом математики, а к *чистым* математикам относил создателя электромагнетизма Джеймса Максвелла, а также Альберта Эйнштейна.¹²

⁷ Спасский Б.И. *История физики*, Москва: Высшая школа 1977, 41–43

⁸ Спасский, указ. соч., 45–46.

⁹ Дойч Д. *Структура реальности*, Перев с англ. Н.А. Зубченко, Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» 2001, 230.

¹⁰ Аристотель. *Физика*. В: Аристотель. *Сочинения в 4 томах*, Москва: Мысль 1981, т. 3, 85.

¹¹ Там же.

¹² Харди Г.Г. *Апология математика*, Перев. с англ. Ю.А. Данилова, Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» 2000.

Древнегреческая физика фундаментально отличалась от новоевропейской науки. Это была наука, образующая единое целое с философией.¹³ Осмысление мира в его полноте и неразрывной целостности являлось основной целью греков. Древнегреческие атомисты, например, легко переходили от вопроса об устройстве космоса к этике. В будущем в науке возросла специализация как следствие стремления ко всё большей точности. Невозможность охватить реальность как нечто целое требует сосредоточения на отдельных аспектах. При этом знания, которые лежат за пределами специализации, начинают рассматриваться как ненужные или даже вредные.¹⁴

Научное познание зарождается в визуальной форме, затем, по мере развития науки, отчётливо выделяется несколько стратегий. *Во-первых*, непосредственная физическая интуиция, проистекающая из опыта жизни в реальном мире; *во-вторых*, мысленные операции над визуальными структурами, т. е. определённое абстрагирование от непосредственной материальной данности, и, *наконец*, операции над математическими абстрактными символами. При изначально невысоком уровне развития науки все три стратегии были согласованы, но со временем между ними возникли противоречия.

Проблема заключается в том, что рано или поздно при повышении уровня абстракции и обобщения требуется признать существование объектов, которые не существуют в реальном мире, однако необходимы для его познания. Одним из ранних примеров подобных коллизий является открытие иррациональных чисел в процессе решения геометрических измерительных задач. Некоторые древние учёные пытались преодолеть эту трудность, приблизив мир математики к миру нашего естественного опыта. Другие, наоборот, стремились вывести физику из чистой математики. Яркий пример подобного синтеза физики и математики можно наблюдать в космологии пифагорейцев: изначально существуют числа 1 и 2, которые дают начало точкам; точки создают линии, линии – плоские фигуры, затем появляются объёмные фигуры и т. д.¹⁵ Таким образом, предполагалось, что наш мир состоит из точек, а числа порождают физику нашего мира. Конфликт между абстракцией и реальностью, данной в ощущениях, всё же решался через признание приоритета абстрактного. Один из примечательных современных примеров таких идей – теория шведско-американского физика Макса Тегмарка, предположившего возможность существования всех вселенных, законы которых математически непротиворе-

¹³ Шрёдингер Э. *Природа и греки*, Перев. с англ. Е.А. Богатырёвой, Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» 2001, 7–20.

¹⁴ Штейнзальц А., Функенштейн А. *Социология невежества*, Перев. М. Кравцова, Москва: Институт изучения иудаизма в СНГ 1997.

¹⁵ Потупа А.С. *Открытие вселенной – прошлое, настоящее, будущее*, Минск: Юнацтва 1991, 95–96.

чивы.¹⁶ Другой известный физик Александр Виленкин полагал, что для возникновения нашей Вселенной было достаточно *лишь* законов физики, а всё остальное – время, пространство и материя – явилось следствием из этих законов, ими же вызванное к существованию:

«Означает ли это, что законы – не просто описания реальности, а сами по себе имеют независимое существование? В отсутствие пространства, времени и материи на каких скрижалях могут быть они записаны?»¹⁷

Но зарождавшаяся физическая наука всё ещё была наукой не об абстрактном, а о конкретном. Это была наука, основанная на видимом – линиях, точках, объёмах, фигурах, их соотношениях и свойствах, проявлениях различных количественных и качественных отношений между ними. Тем не менее по мере развития оторванность математической науки от реального физического мира начинала выражаться гораздо ярче и проявляться самым неожиданным образом. Можно вспомнить известный пример неудовольствия пифагорейцев, которые столкнулись с невозможностью сопоставить числовую дробь диагонали квадрата со стороной, равной единице.¹⁸ Именно эти геометрические причины вынудили пифагорейца Гиппаса расширить *множество рациональных чисел*, добавив *числа иррациональные*. Эти числа невозможно записать в виде отношения двух целых чисел, как в случае обычных дробей, что и вызвало у греков чувство неудовлетворённости. Существование таких чисел знаменовало собой первый кризис визуальности. Пифагорейцам было трудно принять, что корень из двух является числом, но невозможно отрицать, что существует квадрат с такой диагональю. Это привело к разрыву между понятиями числа и пространства.

Как и математика, зарождающаяся физика имела ясную визуальную форму и была связана с геометрической интуицией или размышлениями о природе. Вся она была насквозь видимой и наглядной и описывалась в терминах видимых вещей и явлений. Можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что в Древней Греции физика начинается с милетских материалистов, наиболее известными из которых были Фалес (считавший, что мир произошёл из воды), Анаксимандр, который говорил о том, что всё происходит из первовещества апейрона (ἄπειρον) с несколько неясной природой, и, наконец, Анаксимен, полагавший весь мир

¹⁶ Tegmark M. The Mathematical Universe. In: *Foundations of Physics*, 38(2), 101–150.

¹⁷ Виленкин А. *Мир многих миров. Физики в поисках параллельных вселенных*, Перев. с англ. А.Г. Серова, Москва: АСТ, Астрель 2010, 296.

¹⁸ Пенроуз Р. *Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель*, Перев. с англ. А.Р. Логунова, Э.М. Эпштейна, Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» 2007, 67.

состоящим из воздуха.¹⁹ Все три автора предлагали весьма красочные картины устройства Вселенной. Более всего удивляют не сами фантастические миры, выдуманные греками – современная физика часто не менее фантастична, – удивляет то, с какой уверенностью древние авторы предлагали свои идеи. Откуда, например, Анаксимандр определял, что Земля имеет форму среза колонны, что Солнце, Луна и звёзды – это свет от мирового огня, видимый сквозь дыры в космических тороидальных кольцах? Как он определял, что высота земного цилиндра в три раза меньше ширины его основания и т. д.? Доказательство таких утверждений могло быть только риторическим, никаких прямых свидетельств в пользу подобных теорий быть не могло.

Теории подобного рода не соперничали друг с другом в том смысле, в каком конкурируют современные научные идеи. Убедительность этих теорий имеет совсем другую природу. Можно предполагать, что данные теории «сражались» за эстетическую привлекательность, и в этом смысле крайнюю важность приобретала «визуальная» сторона космологий такого типа. Как кажется, такой подход характерен лишь для слабо развитой науки прошлого, но и в современную эпоху эстетическая составляющая теорий играет значительную роль. Известно, что современные авторы многократно подчёркивают важность эстетической составляющей науки.²⁰

Среди других значимых для натурфилософии мыслителей следует назвать Гераклита. В мире Гераклита всё состоит из огня, который находится в постоянном изменении и движении. Это вечное движение составляет основной закон вселенной. Знаменитый физик Вернер Гейзенберг утверждал, что между идеями Гераклита и современной физикой существует сильное сходство:

«Мы теперь можем сказать, что современная физика в некотором смысле близко следует учению Гераклита. Если заменить слово “огонь” словом “энергия”, то почти в точности высказывания Гераклита можно считать высказываниями современной науки. Фактически энергия – это то, из чего созданы все элементарные частицы, все атомы, а потому и вообще все вещи»²¹.

Критиком Гераклита выступал элеец Парменид, который утверждал единство и цельность шарообразной Вселенной, где всякое разделение, движение и изменение есть обман чувств.²² Космология Парменида похожа на популярную в ту эпоху космологию упомянутого выше Анаксимандра – космологию с космическими

¹⁹ Асмус В.Ф. *Античная философия*, 2-е изд., Москва: Высшая школа 1976, 24–26.

²⁰ Этот взгляд, напр., отстаивал Г. Харди; см.: Харди Г.Г. *Апология математики*, Перев. с англ. Ю.А. Данилова, Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» 2000.

²¹ Гейзенберг В. *Физика и философия. Часть и целое*, Перев. с нем. И.А. Акчурина, Э.П. Андреева, Москва: Наука 1989, 29–30.

²² Асмус, указ. соч., 45–47.

кольцами, которые, правда, содержат не только огонь, но и тьму. Развитие Парменидовой космологии осуществил Мелисс, одним из первых предложивший идею бесконечного мира.

Следующим шагом в развитии науки явился атомизм. Поскольку атомная концепция вещества (представление о том, что материя состоит из дискретных элементов) занимает главенствующую позицию в современной физической теории, разумным представляется рассмотреть её подробно. Не лишним будет предварительно сказать несколько слов о современной теории микромира, которая называется *стандартной моделью*. Эта модель основана на *квантовой теории поля*, оперирующей с *квантовыми полями*, разными состояниями которых описываются частицы и другие объекты. В этой теории существует *двенадцать* типов фундаментальных частиц материи (и столько же соответствующих им *античастиц*), которые называются *фермионами* (в честь физика Энрико Ферми) и образуют все существующие материальные объекты. Фермионы в свою очередь представлены *шестью* типами *лептонов* (от греч. *λεπτός* – лёгкий): *электрон, электронное нейтрино, мюон, мюонное нейтрино, тау-лептон, тау-нейтрино* – и *шестью* типами (*ароматами* или *сортами*) *кварков: нижний, верхний, странный, очарованный, прелестный и истинный*. Все частицы обладают различными характеристиками. Например кварки характеризуются качеством, которое условно называется цветом и может принимать значения «синий», «красный» и «зелёный» и т. д. Кроме этого, существуют *три* типа *взаимодействий* между этими частицами – *сильное, слабое, электромагнитное*, – осуществляемых с помощью других частиц, называемых *калибровочными бозонами*. Для объяснения ряда эффектов в *стандартную модель* вводится одна из самых известных частиц последних лет – *бозон Хиггса*. *Гравитация* не является частью модели и описывается теорией относительности.

На таком примитивном уровне описания, как будет видно дальше, современная физическая картина мира не имеет принципиальных отличий от идей греческой натурфилософии (разве что, в отличие от древнегреческих представлений, у описанных частиц отсутствует визуальное выражение). При этом следует понимать, что связь древнегреческого атомизма с современными естественнонаучными теориями не прямая, а косвенная.²³ отождествлять его с современными моделями напрямую, даже если между ними видится значительное сходство, нельзя. Разница заключается, прежде всего, в интерпретациях, которые учёные и философы более поздних эпох придали идеям древних греков и которые подталкивали к тем или иным путям мышления. Убедительных свидетельств атомистической природы материи греки не имели. Им приходилось полагаться в основном на свою визуальную интуицию и философско-математические предпочтения. Борьба за ту или иную модель простран-

²³ Лосев А. *Очерки античного символизма и мифологии*, Москва: Мысль 1993, 85.

ства и материи часто основывалась на использовании визуальных аналогий или мысленного эксперимента. Мысленный эксперимент позволяет с помощью воображения строить различные визуальные модели и оперировать с ними так же, как мы оперируем с объектами реальности. Мы можем также понимать мысленный эксперимент как попытку «увидеть» то, что увидеть нельзя по какой-либо причине. Р. Арнхейм приводит пример работы визуального мышления в психологическом эксперименте, в котором детям предложено определить количество жидкости в сосудах разной формы. Если бы сосуды можно было трогать, дети могли бы решить вопрос эмпирическим путём, но им приходилось полагаться на своё воображение.²⁴ Мысленный эксперимент зависит от воображения того, кто его «осуществляет», и поэтому возможности такого эксперимента для установления каких-либо свойств реальности весьма ограничены. Тем не менее в истории науки такой род интеллектуальной деятельности приводил к важным результатам.

Предшественниками атомистов были Эмпедокл и Анаксагор. Эмпедокл строил теорию, которая использует *четыре* стихии. Материя состоит из четырёх элементов («корней»): воды, огня, воздуха, земли.²⁵ Огонь играет наиболее важную роль во вселенной Эмпедокла, так как из него всё возникло и в него же всё и возвратится.²⁶ Фактически, мы можем говорить о двух элементах – огне и не-огне, которые противоборствуют друг с другом. Мир Эмпедокла имеет яйцеобразную форму. Причём одна сторона этого яйца имеет огненное происхождение, а вторая состоит из воздуха и примесей огня. Вращение этих полушарий воспринимается как день и ночь.²⁷ При этом Эмпедокл предлагает новую для греков (но популярную на Древнем Востоке) идею о твёрдости небесного свода, который представляет собой кристалловидную материю с прикрепленными звездами.²⁸ В качестве примера здесь также можно привести ситуацию, когда древний мыслитель оказывался случайно правым в каком-либо вопросе. Так, Эмпедокл был, возможно, первым, кто высказал догадку о конечной скорости распространения света. Эта идея в ту эпоху казалась невероятной, и Аристотель критиковал воззрения Эмпедокла.²⁹ Ни Эмпедокл, ни Аристотель, насколько известно, не предпринимали попыток проверить эту гипотезу³⁰, они предпочли опереться на воображение и размышления на основе интуиции и непосредственного опыта.

²⁴ Арнхейм Р. *Новые очерки по психологии искусства*, Перев. с англ. Г.Е. Крейдлина, Москва: Прометей 1994, 153–155

²⁵ Представление о четырёх основных стихиях имеет очень древнюю природу и не является изобретением Эмпедокла.

²⁶ Асмус, указ. соч., 65.

²⁷ Там же, с. 68.

²⁸ Там же, с. 69.

²⁹ Там же.

³⁰ Одна из первых попыток была осуществлена Леонардо да Винчи. Однако его эксперимент не дал содержательных результатов.

Следующий важный шаг в становлении атомизма связан с именем Анаксагора. Этот философ жил в Афинах в начале V века до н. э., во времена правления Перикла. В этот период Афины являлись культурным центром Эллады. Анаксагор представлял мир состоящим из бесчисленного множества частиц вещества, поведение которых направляется одной-единственной движущей силой.³¹ Эти частицы в чём-то подобны объекту, который они составляют: мясо состоит из элементов «мясо», а дерево – из мельчайших элементов «дерево». Такие элементы называются *гомеомерии*, то есть подобные части.³² Во всех объектах содержатся сразу все гомеомерии, а отличия веществ происходят из преобладания тех или иных «семян» в них. Так, пища содержит в себе те элементы, из которых производится наша кровь, кости, мускулы и т. д., поэтому тело человека производит свои части из пищи. В золоте больше гомеомерий золота, поэтому мы воспринимаем золото отличным от дерева, в котором преобладают деревянные гомеомерии. Но и сами гомеомерии заключают в себе свойства сразу всех гомеомерий, поэтому допускают возможность бесконечного деления на другие гомеомерии. Вселенная Анаксагора в этом смысле бесконечна не только в ширину, но и в глубину.³³ Кроме этих идей, Анаксагор высказал множество верных догадок на темы астрономии, геофизики и т. д.

Конфликт между Анаксагором и деятелями афинской демократии возник из-за его учения, которое лишало Солнце и Луну божественного статуса и объявляло их глыбами камня, оторванными в какой-то момент от Земли и разогретыми в процессе движения.³⁴ В то время был внесён закон, который позволял осудить подобного рода ереси. Возможно, целью закона являлась политическая борьба против Перикла, на которого Анаксагор имел влияние, а не только стремление защититься от посягательств на статус богов. Результатом явилось сначала заточение и угроза смертной казни для Анаксагора, а затем его изгнание. Анаксагор был не понят не только «народным большинством», но и некоторыми из своих коллег философов. Ксенофонт приводит следующие слова Сократа об Анаксагоре: «...к тому же рискует сойти с ума тот, кто занят такими изысканиями, точно так же, как сошёл с ума Анаксагор, очень гордившийся своим объяснением действий богов». Далее Ксенофонт пишет:

«...Анаксагор говорил, что огонь и солнце – одно и то же, но он упустил из виду, что на огонь люди легко смотрят, а на солнце не могут глядеть; что от солнечного света люди имеют более тёмный цвет кожи, а от огня нет»³⁵.

³¹ Асмус, указ. соч., 83.

³² Спасский, указ. соч., 46.

³³ Асмус, указ. соч., 85–86.

³⁴ Там же, 77–78.

³⁵ Там же, 78.

Ещё один автор, которого следует упомянуть, – Платон. Несмотря на критику атомизма, он полагал все тела разложимыми на первоэлементы, имеющие форму треугольника.³⁶ Эти элементы были не физической, а математической природы. Гейзенберг находит в этом аналогию с современной наукой.³⁷ Платон составил из треугольников определённого вида *пять* особых многогранников, которые были открыты пифагорейцами³⁸ и описаны Теэтетом Афинским. Теперь эти фигуры называют *Платоновыми телами*. Это единственные *правильные выпуклые* многогранники, которые можно построить в трёхмерном пространстве. При выборе этих фигур Платон, очевидно, руководствовался эстетическими критериями. Правильные многогранники – это симметричные фигуры, их грани образованы одинаковыми правильными многоугольниками, которые также являются симметричными. Симметрия всегда воспринималась как важный элемент красоты и играла значительную роль в искусстве Древней Греции. Позже Кеплер предположил, что с этими фигурами могут быть связаны траектории движения планет в Солнечной системе. Стоит отметить, что в современной науке симметрия также играет значительную роль, хотя и в ином смысле, а в отдельных случаях эту роль следует признать ключевой.³⁹

Каждому многограннику соответствовал отдельный тип стихийного элемента. Так, например, элемент «земля» должен был состоять из кубов, поскольку это самый «устойчивый» из правильных многогранников. Пирамида – наиболее подвижная и наиболее лёгкая (состоящая из меньшего количества частей треугольников) фигура, к тому же острая, – соответствует огню, поскольку огонь «колющий» и подвижный. Подобным образом, опираясь на представление о форме многогранников, Платон объясняет их соответствие тем или иным элементам-стихиям: октаэдру соответствует воздух, икосаэдру – вода. Для оставшегося без пары додекаэдра Платон определил форму вселенной, таким образом устанавливая в своём мире максимальную гармонию форм и отношений. Размышляя о том, как могут взаимодействовать эти фигуры, он выводит из них свойства окружающей материи. Элементы могут распадаться на отдельные треугольники и затем формировать другие элементы. Очевидно, что Платон не имел возможности увидеть или выделить те мельчайшие элементы, которые он описал в *Тимее*. Он

³⁶ Маковельский А.О. *Древнегреческие атомисты*, Баку: Изд-во АН Азерб. ССР 1946, 11.

³⁷ Гейзенберг, указ. соч., 36.

³⁸ Платон. «Тимей»; Перев. С. Аверинцева. В: Платон. *Собр. соч. в 4-х томах*, Москва: Мысль 1994, т. 3. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://www.plato.spbu.ru/TEXTS/PLATO/timaios.htm>. Дата доступа: 19.04.2012.

³⁹ См., напр.: Вайнберг С. *Мечты об окончательной теории*, Перев. с англ. А.В. Беркова, Москва: УРСС 2004. Общее введение в тему см.: Вейль Г. *Симметрия*, Перев. с англ. Б.В. Бирюкова, Ю.А. Данилова; под ред. Б.А. Розенфельда, Москва: Наука 1968.

обращался к визуальному образу элементов, чтобы установить их возможные свойства и законы их взаимодействия. Столкновение, распад и объединение элементов определяли для него картину физического мира и законы поведения тел.

Классический атомизм представлен работами Левкиппа (V век до н. э.) и его ученика Демокрита. В отличие от своих предшественников Эмпедокла и Анаксагора, они предполагали существование неделимых элементарных частиц. Их теории имели отчётливый визуальный характер. Образ «неделимых частиц» имел денотативный, а не коннотативный смысл, как используемое сейчас символическое изображение атома в виде шарика с фиксированной границей. Атомы Левкиппа и Демокрита абсолютно неделимы и абсолютно плотны – они не заключают в себе пустоту. Атомы обладают изначальным свойством движения и постоянно перемещаются в пустоте. По всей видимости, атомы очень малы, но возможно, что Демокрит допускал и существование сколь угодно больших атомов.⁴⁰

Картина мира у Левкиппа и Демокрита выглядит следующим образом. Существует бесчисленное множество атомов, которые обладают всеми возможными формами (ввиду отсутствия причин иметь какую-либо определённую форму) в безграничной и вечной вселенной. Эти атомы находятся в беспорядочном движении; сталкиваясь друг с другом, они образуют вихри, которые вовлекают в себя всё большее количество материи. Вращающиеся атомы сортируются, наподобие зерна в веялке. В результате этого процесса образуются отдельные миры шарообразной формы. Внутренняя структура этих миров может быть различна: они могут иметь несколько лун и солнц разных размеров или не иметь их вообще.⁴¹ При этом форма небесных светил и Земли полагалась плоской. Свойства тел у Демокрита определялись формой атомов. Круглые, гладкие, скользкие атомы образуют небо, другие – менее подвижные – оседают в центре и образуют Землю. Боги состоят из гладких, шероховатых и крючковатых атомов.⁴² Тяжесть тела определяется величиной атомов (так как большие атомы сильнее воздействуют на органы чувств). То есть вес можно определить чисто визуальным способом, если обладать взглядом, способным видеть микроскопические объекты. Теплота у Демокрита зависит от разреженности и наличия пустот между элементами в теле (поскольку тела расширяются при нагревании). Мелкие и круглые атомы образуют огонь и душу. Подвижные атомы души (ума) приводят тело в движение. Форма и фактура атомов создают ощущение цвета. Звук – это тонкий слой атомов, который отделяется от предмета.⁴³ К механистическим картинам Демокрит сводил и психологию, и биологию, таким образом превращая их в разделы физики. Демокрит, однако, не ставил перед собой задачу предсказывать явления,

⁴⁰ Асмус, указ. соч., 141–142.

⁴¹ Там же, 150–151.

⁴² Маковельский, указ. соч., 93.

⁴³ Там же, 99–100.

поэтому его модель была лишена подобных затруднений. Любовь, неприязнь, слез или действие магнита описывались одной и той же схемой «истечений» из тела, которые механическим способом оказывали влияние на атомы других тел.

Несмотря на достаточную популярность идей атомизма, их прямых подтверждений не существовало очень долго. Даже Декарт и Лейбниц придерживались того воззрения, что материя является непрерывной. По словам Лейбница, «нет никаких атомов, т. е. тел, неделимых на части»⁴⁴. Только Альберту Эйнштейну удалось, наконец, привести убедительные доказательства в пользу существования молекул⁴⁵ в связи с объяснением броуновского движения в 1905 году.⁴⁶ Это, однако, не решило в полной мере вопрос о дискретности и непрерывности материи, который перешёл в новую фазу.

Атомистической была и математика Демокрита. Подход, описывающий математические объекты как состоящие из большого, но не бесконечного числа наименьших элементов, кажется естественным для физики реального мира, хотя установить, в какой степени он истинен, представляется довольно сложным.⁴⁷ По мнению Демокрита, в природе существуют настоящие точки, которые в отличие от математической точки имеют реальный размер, но их невозможно воспринимать чувственно, поскольку человеческий взгляд не способен их увидеть. Зато их можно постигать мысленно. Геометрические фигуры, следовательно, также необходимо рассматривать как имеющие такого рода физическую структуру. Конус, например, состоит из очень тонких дисков разного радиуса, наложенных друг на друга, причём эти диски отделены друг от друга тончайшим слоем пространства. Шар составлен из огромного числа иглоподобных пирамид, вершины которых лежат в его центре, а основания составляют поверхность.⁴⁸

Таким образом, для Демокрита в самой природе существуют основания математики, познаваемые разумом. В отличие от этого, современное представление часто переносит все геометрические формы в область чистой абстракции. Знаменитый французский математик Анри Пуанкаре утверждал, что для современного геометра пространство не более чем инструмент, такой же как и мел, которым он пишет.⁴⁹ Важным результатом взглядов Демокрита становится то, что три описанные ранее стратегии постижения реального мира

⁴⁴ Лейбниц Г. *О Первой материи*. [Электронный ресурс] Точка доступа: http://www.philosophy.nsc.ru/BIBLIOTECA/History_of_Philosophy/LEIBNIZ/DE%20MATERIA%20PRIMA.htm. Дата доступа: 22.06.2012.

⁴⁵ Зелиг К. *Альберт Эйнштейн*, Сокр. перев. с нем., Москва: Атомиздат 1964, 58–59.

⁴⁶ Льюис М. *История физики*, Перев. с ит. Э.Л. Бурштейна, Москва: Мир 1970, 347–348.

⁴⁷ Пенроуз, указ. соч., 74–76.

⁴⁸ Асмус, указ. соч., 152–155.

⁴⁹ Пуанкаре А. *О науке*, Перев. с фр. под ред. Л.С. Понтрягина. 2-е изд., стер. Москва: Наука 1990, 24.

вновь сливаются в единое целое. Наметившееся деление на физику и математику исчезает. Теперь физика и математика – одно и то же, волновавшие греков парадоксы бесконечного полностью исчезают. Поскольку любая длина определялась первоэлементами, то Демокрит отрицал существование иррациональных величин, которые возникают в математике, построенной на принципах бесконечного деления, как, напр., у Анаксагора, и которые так потрясли пифагорейцев. В понимании Демокрита тела, полученные с помощью иррациональных чисел, являются фикцией и существуют только во «мнении» людей. Эти и другие соображения заставили его отрицать «реальное» существование конусов, параллелепипедов, шаров и других фигур в том виде, в каком они существуют в привычной для нас геометрии.

Математика Демокрита не была чисто теоретическим конструктом. Используя её, он подошёл к понятию дифференциального исчисления. При этом он использовал не бесконечно малые и труднодоступные для визуального представления, а «абсолютно» малые и более наглядные величины. Таким способом Демокрит избегал ряда трудностей, с которыми в будущем (временно) столкнулся математический анализ. Как и в описанных ранее случаях, рассуждения Демокрита предполагают наличие некоторого совершенного наблюдателя или «идеального глаза», способного рассмотреть минимальные первоэлементы вещества.⁵⁰ Таким «глазом» является человеческий разум.

Взгляд Демокрита на природу математических объектов не получил распространения. Как ни парадоксально, но, возможно, именно потому, что, в отличие от физики, его математика противоречила визуальному мышлению. Мысленно мы всегда можем «разделить» любую фигуру на части, но Демокрит требовал, чтобы в какой-то момент мы отказались от такой возможности. Следовало признать, что линия состоит из набора «атомов», которые составляют предел увеличения и разделения. Это в корне противоречит нашему опыту, нашей непосредственной интуиции.⁵¹ Теория Демокрита имела и некоторые другие трудности.

Иной подход в разрешении конфликта между физикой и математикой мы можем найти у Протагора. Для него основанием математики являлся эмпирический опыт.⁵² Протагор отрицал существование «линий» и «точек», с которыми оперировали другие математики и астрономы его эпохи. Он занимал позицию гносеологического антропологизма, когда «человек есть мера всех вещей»⁵³. Для упомянутого ранее Пуанкаре несоответствие геометрии человеческой перцепции выступало главным доводом в пользу того, чтобы отрицать вклад чувственного опыта в математику. Протагор же, напротив, полагал, что несоответствие математики визуальному

⁵⁰ Маковельский, указ. соч., 87.

⁵¹ Асмус, указ. соч., 156.

⁵² Маковельский, указ. соч., 83.

⁵³ Там же.

опыту является основанием для того, чтобы отрицать математику. Свои математические идеи Протагор применил при решении ряда астрономических задач. В его понимании истинными являлись не те кривые траектории движения небесных тел, о которых говорили астрономы, а те, которые совпадали с данными чувственного восприятия.⁵⁴ Эта позиция, которая задаёт примат перцептивного опыта над аналитическим, может показаться совершенно неприемлимой для современного человека. Вероятно, идеи Протагора столкнулись с теми же трудностями, с которыми столкнулись и идеи Демокрита – они ограничивали возможности нашего визуального мышления, требуя умственных операций с математическими концепциями, наподобие того как мы обращаемся с изображениями на бумаге.

Расхождение между интуицией и различными способами мышления увеличивалось со временем. Это породило более привычные для нас подходы. Например, подход Платона, который предполагал для математических объектов особый вид бытия, независимый от нашего чувственного опыта. Этого взгляда с некоторыми модификациями придерживается и современный физик Роджер Пенроуз, который рассматривает математические объекты в виде объективно существующих в «платоническом мире математических форм»⁵⁵. Вообще, идея о том, что математика составляет отдельный от человека мир, внешний по отношению к нему, была достаточно популярна и среди известных математиков XIX века.⁵⁶ Трудности, которые тревожили греков, как, напр., проблема иррациональных чисел, оказались разрешимы. Со временем эти числа стали привычным математическим средством, хотя их очень долго не удавалось обосновать. Лишь в XIX веке это было сделано Дедекиндом.⁵⁷ Окончательно современная идея о том, что математические объекты необходимо полностью отделить от данного нам физического пространства, стала основополагающей в XIX веке, когда были сконструированы геометрии, как казалось, не имеющие никакого отношения к человеческой реальности.⁵⁸

Мы кратко описали, какую роль играли визуальность и наглядность в греческой науке. Однако уже там предпринимались первые попытки по девизуализации. Греки стремились уйти от наглядности, свойственной интеллектуальным поискам восточных мудрецов.⁵⁹ Особую роль в этом сыграл Аристотелев метод выяснения истины с помощью логических операций, описанный в *Органоне*. В диалоге Платона *Федон* Симмиас говорит: «Я знаю, что те, которые ведут доказательство, исходя от очевидности, посту-

⁵⁴ Маковельский, указ. соч., 84.

⁵⁵ Пенроуз, указ. соч., 625–635.

⁵⁶ Клайн М. *Математика. Утрата определенности*, Перев. с англ. Ю.А. Данилова; под ред. И.М. Яглома, Москва: Мир 1984, 371–373.

⁵⁷ Пенроуз, указ. соч., 73.

⁵⁸ Там же, 72–73.

⁵⁹ Каган В.Ф. *Лобачевский и его геометрия. Общеизвестные очерки*, Москва: Гостехиздат 1955, 22.

пают тщетно»⁶⁰. Школа Платона, а следом Евклид стремились к изгнанию из геометрии рассуждений наглядного характера. Видимость может быть ложной, поэтому на неё не следует опираться в рассуждениях, чтобы не допускать ошибок.

Наука древней Греции была предельно визуальна даже по сравнению с другими цивилизациями прошлого. Эту визуальность вобрала в себя зародившаяся в Европе новая научная парадигма. Однако позже такие науки, как физика и, особенно, математика, твёрдо стали на рельсы девизуализации. Рисунки, интуиция, визуальное мышление – всё это существенно понижалось в ранге в иерархии инструментов научного поиска.

Заметим, что в отличие от греческой цивилизации другие великие культуры прошлого часто имели иные стандарты подхода к познанию. Для примера: одной из задач, которая представляла значительный интерес для математиков прошлого, выступала задача решения *алгебраических уравнений* разных степеней. Греки и другие народы древности знали формулу для решения уравнения второй степени, с помощью которой корни уравнения выражались через его коэффициенты. Эстафету в поиске формул для вычисления корней уравнений высших степеней приняли европейцы. В XVI веке им удалось найти способ выразить корни уравнения третьей степени через его коэффициенты. Это достижение существенно повысило самооценку европейских учёных в отношении своего научного потенциала, поскольку впервые была решена задача, которая не поддавалась ни грекам, ни арабам. Затем аналогичным способом была получена формула для вычисления корней уравнения четвёртой степени. Для уравнений высших степеней аналогичной формулы не существует. Попытки найти такие формулы, а также выяснить, в каких случаях они возможны, привели к возникновению новой области математики – *теории групп*, а затем *абстрактной алгебры*, которые в свою очередь сыграли значительную роль в математической физике. Однако, например, в Китае мы видим иную ситуацию. Для китайцев поиск точного решения для абстрактных задач подобного рода не представлял, по видимому, значительного интереса, несмотря на более алгебраический характер их математики в сравнении с геометрическим мышлением греков. Вместо этого они нашли общий способ разыскания *приближённого* значения для вычисления корней уравнения с помощью «Метода небесного элемента», который сейчас называется методом Горнера и который в Европе открыли лишь в XIX веке.⁶¹

Но, в отличие от алгебраической науки китайцев, для греков и позже европейцев уравнение не являлось просто формулой – но линией в некотором идеальном абстрактном пространстве. Линия на чертеже выступала отсылкой к этому миру. Но чертёж не раскрывал всей правды о мире. Знать свойства этой линии было важно

⁶⁰ Каган, указ. соч., 22.

⁶¹ Берёзкина Э.И. *Математика древнего Китая*, Москва: Наука 1980, 106–107.

для греков и затем европейцев. Точнее говоря, им было важно знать координаты точки, в которой кривая уравнения пересекается с некоторой прямой. Эта ситуация аналогична ситуации с иррациональными числами, когда видимая гипотенуза прямоугольника отсылала к миру абстракций, не существующих в реальном мире. Именно оперируя с такими индексными знаками, греки развивали своё понимание реальности. И именно это стремление к более тонкому и точному познанию абстрактных конструкций в платоническом мире в будущем явилось причиной отхода от визуального мышления. Линии на чертеже не давали действительного ответа на вопрос о корнях уравнения (хотя могли бы дать приближённый). В лучшем случае они свидетельствовали лишь о существовании или отсутствии этих корней.⁶² Поэтому греки упорно искали способ сделать свои визуальные математику и физику не зависимыми от интуиции, а опирающимися на систему вербального вывода по законам логики. В математике одну из значимых попыток в этом направлении предпринял Евклид, а в физике схожую задачу пытался решить Прокл.

Знаменитая система теорем и связывающих их логических конструкций Евклида не была совершенной. Когда Евклид писал определения основных понятий и аксиом геометрии, он не определял многие идеи, которые казались ему очевидными и действительно таковыми были, если рассматривать геометрию как визуальную науку. (Речь идёт о таких понятиях, как, например, *лежать между*.) Стремление избавить геометрию от всякой визуальности вынудило пересмотреть её начальные положения и доопределить их. Таким образом, математика, а вместе с ней и другие науки теряли визуальность, зато прибавляли в точности.

Ньютон впервые опубликовал свою знаменитую книгу по физике, используя исключительно геометрические представления, но затем физика перешла на более продуктивный аппарат математического анализа. Наиболее известными последователями этого формалистического подхода, в рамках которого математика рассматривалась как ряд формальных операций над цепочками символов, имеющих смысл не сами по себе, а только в отношении друг к другу, были представители французской школы Николя Бурбаки. Одним из нескольких одиозных следствий такого подхода в стремлении к формализации и абсолютной точности было, например, описание полного имени единицы, для записи которого Бурбаки потребовались десятки тысяч символов.⁶³ В *Principia Mathematica*, совместном труде известного философа и логика Рассела и математика и философа Уайтхеда, на определение этого числа отведено 345 страниц.⁶⁴

⁶² В будущем это сыграет важную роль при создании теории комплексных чисел.

⁶³ Успенский, указ. соч., 106–155.

⁶⁴ Дербишир Дж. *Простая одержимость. Бернхард Риман и величайшая нерешенная проблема в математике*, Перев. с англ. А. Семихатова,

Заключение

В этой работе мы попытались показать, что изначально научное познание реальности было тесно связано с визуальным мышлением. Мы также попытались обрисовать основные моменты, которые способствовали тому, что со временем визуальное мышление начало вызывать всё большее подозрение у учёных. Развитие науки противопоставило наглядное тому, что существует лишь абстрактно, или, выражаясь словами Демокрита, «во мнении людей». Абстракция зарождается в связи с изучением визуального мира, как, например, в случае с изучением сторон треугольника. Обобщение процедуры, связанной с землемерными работами, и изучение вполне видимых геометрических фигур привели к понятию иррациональных чисел, которые не существуют нигде в природе. Эти противоречия, очевидно, заставили учёных прошлого сомневаться в возможности полагаться лишь на наглядное.

Убеждённости в том, что знания, полученные с помощью рационального размышления, основанного на символических преобразованиях, превосходят все остальные формы опыта, достигла своего апогея, вероятно, в XIX веке. Истина о мире должна выводиться по надёжным правилам из набора неоспоримых фактов. В математике эти факты названы *аксиомами*, а правила – *математической логикой*. В физике аксиомами выступают *постулаты*. Деятельность учёного состоит в получении новых знаний исходя из аксиом при помощи определённых правил.

Все эти меры по достижению точности и достоверности заставляли смотреть на цикл физико-математических наук как на триумф объективности, что явилось причиной, которая заставляла верить в превосходство естественных наук над иными практиками и, кроме того, отказываться от визуального мышления, неопределённого и многозначного в сравнении с точно определёнными символами.

Однако визуальное мышление не исчезло из науки, как можно было бы полагать. С одной стороны, в прошлом веке стало очевидно, что вербальное мышление также может быть ненадёжным и вести к интеллектуальным тупикам и заблуждениям. Но и ещё ранее визуальное мышление сыграло важную роль в электродинамике и далее оказало большое влияние на теорию относительности. Более того, его значение возросло в связи с новыми методами и возможностями визуализации, ставшими доступными в XXI веке.