

ГЛАВА 15

ИСТИНА, КРАСОТА И ДРУГИЕ НАУЧНЫЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ

В феврале 2007 г. физик-теоретик и нобелевский лауреат Мюррей Гелл-Манн выступил на конференции TED («Технологии, развлечения, дизайн») в Калифорнии, где раз в год собираются лидеры науки, техники, литературы, индустрии развлечений и других инновационных сфер, чтобы поделиться новыми достижениями и взглядами по самым разным вопросам. Выступление Мюррея было встречено продолжительной овацией; посвящено оно было истине и красоте в науке. Основную мысль выступления лучше всего можно передать его собственными словами, повторившими мысль Джона Китса: «Истина — это красота, а красота — это истина».

У Гелл-Манна были серьезные причины верить в это заявление. Сам он совершил наиболее значительные из своих открытий, принесшие ему в конце концов Нобелевскую премию, в процессе поиска фундаментального принципа, позволяющего элегантно «обуздать» хаос данных, накопленных учеными в 1960-е гг. Опыт Мюррея говорил о том, что поиск красоты привел его к истине.

Никто в аудитории не оспорил это громкое заявление. В конце концов, большинству людей нравится думать, что красота и истина неразделимы и что поиск одного чаще всего приводит к другому. Но мне, признаюсь, это утверждение всегда представлялось несколько неоднозначным. Конечно, всем хотелось бы верить, что в основе великих научных теорий лежит красота и что истина

всегда эстетически прекрасна. Но ведь красота, по крайней мере отчасти, — понятие субъективное и не может быть надежным арбитром истины.

Если бы истина и красота были эквивалентны, выражение «неприглядная истина» в языке никогда бы не возникло. Пусть эти слова не связаны напрямую с наукой; очевидно тем не менее, что то, что мы наблюдаем вокруг себя, не всегда красиво. Коллега Дарвина Томас Гексли прекрасно сформулировал это ощущение: «Наука — это исключительно здравый смысл, где множество красивых теорий пало под напором безобразных фактов».

Дополнительно осложняет ситуацию то, что физикам приходится признать: далеко не все наблюдаемые элементы Вселенной красивы. Мы видим вокруг путаницу явлений и целый зоопарк частиц, в которых хотелось бы разобраться. В идеале физики с огромным удовольствием нашли бы какую-нибудь простую теорию, которая объяснила бы все наблюдения при помощи небольшого числа правил и еще меньшего — фундаментальных ингредиентов. Но, даже посвятив себя поискам простой и элегантной объединяющей теории, при помощи которой можно было бы прогнозировать результат любого эксперимента в физике элементарных частиц, ученый понимает: если ему и удастся найти такую теорию, потребуется еще многое сделать, чтобы согласовать ее с окружающим миром.

Вселенная сложна. Как правило, непросто подогнать простую лаконичную формулировку под далеко не простой окружающий мир. Случается, что дополнительные элементы разрушают всю красоту первоначально предложенной формулы, — точно так же, как поправки к законам часто ставят с ног на голову прекрасные намерения авторов законопроектов.

Но как же, зная об ожидающих всюду потенциальных ловушках, ученые все же умудряются расширять пределы человеческих знаний? Как нам удастся интерпретировать неизвестные до сего момента явления? Эта глава посвящена идее красоты и роли эстетических критериев в науке, а также преимуществам и недостаткам красоты как критерия истины. Кроме того, в ней говорится о *модели* познания мира и уделяется внимание эстети-

ческим критериям при попытках предсказать наше дальнейшее развитие.

КРАСОТА

Недавно один художник в разговоре со мной с юмором заметил, что современные ученые едва ли не чаще, чем современные художники, объявляют своей целью красоту. Конечно, художники не отказались от эстетических критериев, но тем не менее часто говорят об открытиях и изобретениях при обсуждении своих работ.

Но, несмотря на значение, которое многие ученые придают элегантности, они нередко по-разному оценивают ее. Точно так же, как вы с соседом можете не сойтись во мнениях относительно какого-нибудь современного художника, такого как Дэмиен Херст, разные ученые по-разному воспринимают одни и те же аспекты своей науки.

Я, как и мои единомышленники, предпочитаю искать фундаментальные принципы, которые раскрывали бы связи между совершенно независимыми на первый взгляд наблюдаемыми явлениями. Большинство моих коллег занимается тем, что разбирает при помощи конкретных разрешимых теорий и связанного с ними сложного математического аппарата так называемые модельные задачи (то есть задачи, не связанные с реальными физическими условиями). Возможно, позже эти задачи (и решения) найдут себе применение в связи с какими-то наблюдаемыми физическими событиями, а может быть, и нет. Другие физики предпочитают сосредоточиться на одних только теориях с четким и элегантным аппаратом; такие теории дают множество экспериментальных прогнозов, которые можно систематизировать и просчитывать.

Интересные принципы, высшая математика и сложные численные модели — все это составные части физической науки. Большинство ученых ценит их все, но каждый из нас выбирает собственные приоритеты исходя из того, что ему больше всего нравится делать — или какой путь с наибольшей вероятностью

приведет к научным результатам. В самом деле, часто мы выбираем свой подход в соответствии с тем, какой метод лучше всего соответствует нашим уникальным склонностям и талантам.

Представления о красоте меняются со временем, и не только в искусстве. Собственная специализация Мюррея Гелл-Манна — квантовая хромодинамика — хороший тому пример.

Выводы Гелл-Манна о законах сильного взаимодействия были сделаны на основании блестящей догадки о том, как организовать множество частиц, которые в 1960-е гг. открывали одну за другой, в разумную структуру, которая объяснила бы их многочисленность и разнообразие. Он предположил существование еще более фундаментальных элементарных частиц, известных сегодня как кварки, обладающих новым видом заряда — цветовым. В этом случае ядерному взаимодействию должны быть подвержены все объекты, обладающие этим зарядом; оно же должно удерживать кварки с образованием нейтральных объектов — точно так же, как электрическая сила связывает электроны с заряженными ядрами в нейтральные атомы. Если это так, то все открываемые частицы можно рассматривать как связанные состояния этих кварков — как составные объекты с нулевым суммарным цветовым зарядом.

Гелл-Манн понял, что если существует три типа кварков, каждый со своим цветовым зарядом, то из них сможет образоваться множество нейтральных («белых») связанных состояний. И это множество состояний должно соответствовать (и действительно соответствует) массе частиц, которые ученые находили тогда едва ли не каждую неделю. Таким образом, Гелл-Манн нашел красивое объяснение тому, что прежде казалось необъяснимым хаосом всевозможных частиц.

Однако, когда Мюррей и независимо от него физик (а позже нейробиолог) Джордж Цвейг опубликовали свою идею, многие даже не восприняли ее как настоящую научную теорию. Физика элементарных частиц исходит из того, что частицы на большом расстоянии не взаимодействуют — как следствие, мы можем рассчитать конечные эффекты взаимодействий, которые возникают при сближении. В таком контексте любое взаимодействие можно

полностью представить как влияние локальных сил, которые проявляются лишь тогда, когда взаимодействующие частицы сближаются.

В то же время сила, о которой писал Гелл-Манн, становилась тем *сильнее*, чем дальше частицы находились друг от друга. Это означало, что кварки взаимодействуют всегда, даже если расстояние между ними очень велико. По общепринятым тогда критериям догадка Гелл-Манна не подходила даже на роль теории, которую можно использовать для достоверных вычислений. Поскольку кварки взаимодействуют всегда, любое их состояние — даже так называемое *асимптотическое*, когда кварк находится на значительном удалении от любого объекта — описывается очень сложно. И асимптотические состояния, постулированные в новой теории, были вовсе не тем же самым, что простые частицы, которые хотелось бы видеть в результате теоретического расчета. Разве это не отказ от красоты в пользу уродства?

Первоначально никто не знал, как организовать вычисления всех этих сложных состояний, связанных сильным взаимодействием. Однако современные физики относятся к сильному взаимодействию совершенно иначе. Мы теперь понимаем его намного лучше, чем в те времена, когда была впервые высказана эта идея. За разработку концепции «асимптотической свободы в теории сильных взаимодействий» Дэвид Гросс, Дэвид Политцер и Фрэнк Вильчек были удостоены Нобелевской премии. Согласно их расчетам, сила взаимодействия велика лишь при низких энергиях. При высоких энергиях ядерное взаимодействие лишь ненамного сильнее других типов взаимодействия, и расчеты дают ровно то, что ожидалось. Более того, некоторые физики сегодня считают теории, подобные теории сильного взаимодействия, *единственными* по-настоящему проработанными, — ведь сильное взаимодействие с ростом энергии быстро ослабевает, а не возрастает до бесконечности, как могло бы в противном случае.

Теория ядерного взаимодействия Гелл-Манна — интересный пример взаимосвязанности эстетических и научных критериев. Первоначально он стремился в основном к простоте. Но потребовалось немало научных расчетов и теоретических выкладок,

прежде чем остальные ученые согласились с тем, что предложенная им теория красива.

Разумеется, этот пример не единственный. Во многих наших самых надежных теориях есть аспекты настолько на первый взгляд безобразные и неубедительные, что даже уважаемые и признанные ученые поначалу отвергали их. На квантовой теории поля, сочетающей в себе квантовую механику и специальную теорию относительности, основана вся физика элементарных частиц. Тем не менее итальянский физик и нобелевский лауреат Энрико Ферми (и не он один) поначалу отверг ее. Для Ферми проблема заключалась в том, что, хотя квантовая теория поля формализует и систематизирует все вычисления и позволяет делать верные прогнозы, при этом она пользуется такими вычислительными методами, которые даже многие сегодняшние физики считают слишком сложными. Некоторые аспекты этой теории действительно красивы. С другими ученым просто приходится мириться.

Эта история повторялась в науке не один и не два раза. Красивой теорию часто объявляют задним числом. Так, ядерное взаимодействие нарушает так называемую четность, то есть пространственную симметрию. Это означает, что частицы с левой киральностью взаимодействуют не так, как те, у которых киральность правая. Нарушение такой фундаментальной симметрии, как пространственная, представляется изначально тревожным. Тем не менее именно этой асимметрии мы обязаны существованием той линейки масс, которую видим вокруг себя, — а массы, в свою очередь, необходимы для жизни. Сначала асимметрия казалась отвратительной, но сегодня мы знаем, что она необходима. «Безобразное» само по себе нарушение пространственной симметрии ведет к «красивым» объяснениям более сложных явлений, без которых вещество в окружающем нас мире было бы невозможно.

Красота не абсолютна. Теория, симпатичная ее создателю, кому-то другому может показаться громоздкой или путаной. Иногда я остро ощущаю красоту только что придуманной гипотезы — в основном потому, что знаю все прочие идеи, которые выдвигали другие ученые до меня и которые не оправдали надежд. Но даже

то, что лучше предыдущих попыток, не обязательно красиво. Мне не раз случалось создавать модели, которые соответствовали этому критерию, но встречали скептицизм и непонимание со стороны коллег, менее знакомых с темой. Теперь мне кажется, что, возможно, лучший критерий хорошей идеи — то, что она способна понравиться даже человеку, который никогда специально не занимался этой проблемой.

Иногда, правда, верно и обратное: хорошие идеи отвергаются только потому, что кажутся авторам некрасивыми. Макс Планк не поверил в фотоны, хотя именно он начал логическую цепочку, которая завершилась в конце концов их изобретением. Эйнштейн считал, что расширяющаяся Вселенная, непосредственно вытекавшая из уравнений общей теории относительности, невозможна, отчасти потому, что она противоречила его эстетическим и философским представлениям. Ни одна из этих концепций, вероятно, в свое время не казалась особенно красивой. Но законам физики и Вселенной, в которой они действуют, нет до этого дела.

КАК ПОНРАВИТЬСЯ ВСЕМ

Учитывая непостоянную природу красоты, имеет смысл подумать о том, могут ли существовать в природе черты, способные сделать идею или образ объективно красивыми и привлекательными для всех без исключения. Возможно, основной вопрос здесь заключается в том, существуют ли вообще у человечества единые универсальные критерии красоты в любом контексте, будь то искусство или наука.

Никто пока не знает ответа на этот вопрос. В конце концов, красота неразрывно связана с художественным вкусом, а вкус — понятие субъективное. Тем не менее трудно поверить, что люди не имеют хоть каких-то общих эстетических критериев. Я часто замечала поразительное единодушие людей в оценке произведений искусства на выставке — или даже в том, на какие выставки люди стремятся попасть. Разумеется, это ничего не доказывает, поскольку все они живут в одно время. Вообще, представления о красоте трудно выделить из конкретного культурного контекста

или временного периода, в котором они сформировались; трудно отделить личную точку зрения от усвоенных представлений или суждений. В редких случаях люди могут сойтись в едином мнении о том, что что-то выглядит красиво или, напротив, безобразно. Но даже в этих немногочисленных случаях мнения не всегда сходятся относительно деталей.

Но, несмотря ни на что, некоторые эстетические критерии все же представляются универсальными. В любой школе по искусству обучение начинают с представлений о золотом сечении. Пример практического воплощения этого принципа — «Давид» Микеланджело в Академической галерее Флоренции. «Давид» очень грациозен и устойчив. Он никогда не упадет и не развалится на куски. Люди ищут равновесие и гармонию везде. Искусство, религия и наука — не исключение, они обещают человеку достижение всех этих качеств. Однако искусство производит сильное впечатление даже тогда, когда отвергает привычные представления о гармонии; пример тому — ранние скульптуры Ричарда Серра (рис. 47).



РИС. 47. Ранние скульптуры Ричарда Серра наглядно демонстрируют, что иногда искусство, нарушая равновесие, только выигрывает. (Опубликовано с разрешения: Ричард Серра/ArtistRightsSociety, Нью-Йорк.)

Симметрия также часто рассматривается как необходимая составляющая прекрасного, о чем свидетельствуют многочисленные памятники искусства и архитектуры. Система обладает симметрией, если ее можно изменить — повернуть, поменять части местами — так, что трансформированная система будет неотличима от первоначальной. Вероятно, гармоничностью симметричной системы объясняется тот факт, что она присутствует практически во всех религиозных символах. На рис. 48 вы видите христианский крест, иудейскую звезду, исламский полумесяц и буддистское колесо дхармы.



РИС. 48. Религиозные символы часто обладают симметрией

Особенно широко использует симметрию исламское искусство, где запрещены всякие антропоморфные образы; ему приходится полагаться в основном на геометрические формы. Великолепный пример — мавзолей Тадж-Махал в Индии. Мне не доводилось встречать людей, которые побывали бы в Тадж-Махале и остались равнодушны к его формам и симметрии. Дворец Альгамбра в южной Испании — яркое выражение мавританского искусства — также несет в себе интересные схемы симметрии; возможно, это одно из красивейших зданий, сохранившихся до наших дней.

Современное искусство, к примеру работы Элсуорта Келли или Бриджет Райли, иногда демонстрирует симметрию геометрических форм. В архитектуре Шартрского собора и росписи потолка Сикстинской капеллы тоже искусно использована симметрия (рис. 49).

Однако произведение искусства, как правило, производит наиболее сильное впечатление тогда, когда его симметрия не пол-



РИС. 49. Архитектура Шартрского собора и свод Сикстинской капеллы воплощают в себе принцип симметрии

на. Японское искусство известно не только изяществом форм, но и очень тонким и взвешенным нарушением симметрии. В японских картинах и расписанных шелковых экранах всегда присутствует четкая ориентация, ведущая глаз зрителя по вполне определенному маршруту (вы можете убедиться в этом, взглянув на рис. 50).

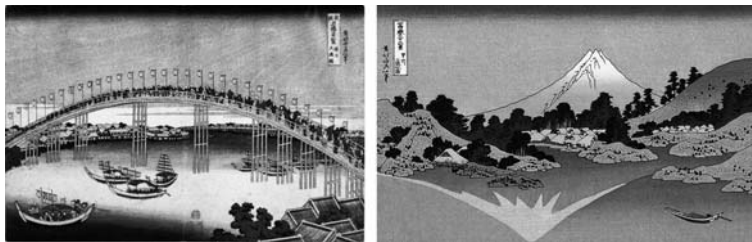


РИС. 50. Японское искусство интересно отчасти своей асимметричностью

Простота — еще один критерий, иногда также связанный с симметрией и способный помочь в оценке красоты. Иногда простота основывается на симметрии, но внутренняя упорядо-

ченность может присутствовать и там, где нет очевидной симметрии. Картины Джейсона Поллока при кажущейся хаотичности обладают внутренней простотой, основанной на плотности красок. Цветовые пятна на них кажутся случайно расположенными, но на самых знаменитых его картинах все цвета присутствуют в строгой гармонии.

Простота в произведении искусства может быть обманчивой. Я однажды попыталась скопировать несколько фрагментов Матисса — детали простейших его работ, написанных в те времена, когда художник был уже стар и слаб. Тем не менее, попытавшись воспроизвести их, я поняла, что эти работы не так уж просты — по крайней мере для моей неумелой руки. Простые элементы могут воплощать в себе более четкую структуру, чем представляется на первый, поверхностный, взгляд.

Во всяком случае, красота заключена не только в простых базовых формах. Некоторые признанные шедевры искусства, такие как работы Тициана или Рафаэля, представляют собой сложные полотна с множеством внутренних элементов. В конце концов, идеальная простота может оказаться отупляющей. Нам нужно что-то простое — но не настолько, чтобы быть скучным. Мир, судя по всему, устроен примерно так же.

КРАСОТА В НАУКЕ

Сформулировать эстетические критерии очень трудно. В науке, как и в искусстве, есть объединяющие темы, но нет абсолюта. Тем не менее эстетические критерии в науке полезны. Они помогают выявлять направление исследований, хотя и не дают гарантии успеха.

Эстетические критерии, применяемые в науке, похожи на те, что мы обрисовали для искусства. Симметрия, безусловно, играет в них важную роль. Интересно, что, как и в искусстве, симметрия в науке обычно относительна. Лучшие научные описания, как правило, отдадут дань изяществу симметричных теорий, но предусматривают и нарушения симметрии, необходимые для корректного прогнозирования событий в окружающем нас мире. Нарушение

симметрии обогащает концепции, к которым относится, и придает им дополнительные объяснительные возможности. И, как часто бывает в искусстве, теории, связанные с нарушением симметрии, могут быть куда красивее, чем те, что полностью сбалансированы.

Прекрасный пример тому — механизм Хиггса, отвечающий за массы элементарных частиц. Он красноречиво объясняет, как может быть нарушена симметрия, связанная со слабым взаимодействием. Мы еще не обнаружили бозон Хиггса — частицу, которая неопровержимо доказала бы верность этой концепции*. Но эта теория так красива, что большинство физиков уверены в том, что она верно описывает природу.

Простота — еще один важный субъективный критерий, который используют физики-теоретики. В глубине души все мы верим, что в основе сложных наблюдаемых явлений лежат простые правила и элементы. Поиск простых базовых элементов, из которых состоит все вокруг, начался отнюдь не вчера. Еще в Древней Греции Платон представлял себе идеальные объекты — геометрические формы — и идеальных существ, к которым земные объекты и существа могут лишь приблизиться. Религии тоже нередко постулируют существование более совершенных и цельных субстанций, не встроенных в реальность, но каким-то образом с ней связанных. Даже история изгнания наших предков из Райского сада предполагает, что когда-то мир был идеальным. Вопросы, к которым обращается современная физика, и ее методы очень отличаются от тех, что были у наших предков; тем не менее многие физики и сегодня заняты поисками простого объяснения Вселенной — не в философском или религиозном смысле, а в плане фундаментальных элементов, составляющих основу нашего мира.

Поиск базовой научной истины часто подразумевает поиск простых элементов, из которых можно объяснить сложные явления, наблюдаемые в мире. Такие исследования нередко включают в себя поиск моделей и организационных принципов. Большинство ученых считают перспективными только изящные и лаконичные гипотезы. Кроме того, точка с минимумом исходных данных

* По состоянию на момент написания книги. — *Прим. пер.*

имеет дополнительные преимущества: она обещает максимум предсказательной силы. Рассматривая новые гипотезы об основах Стандартной модели, мы, как правило, скептически относимся к моделям слишком громоздким.

Опять же, как в искусстве, физические теории могут быть просты сами по себе, а могут представлять собой сложные композиции, составленные из простых и предсказуемых элементов. Конечный результат, разумеется, не всегда получается простым, даже если просты исходные компоненты, а иногда и правила, которым они подчиняются.

Крайнее проявление подобных стремлений — поиск единой теории, которая состояла бы всего из нескольких простых элементов и подчинялась небольшому набору правил. Это амбициозная, чтобы не сказать дерзкая, задача. Ясно, что на пути к достижению этой цели нас ждут очевидные препятствия, не позволяющие нам легко отыскать элегантную теорию, которая объяснила бы все без исключения наблюдаемые факты: в мире вокруг мы видим лишь малую часть того, что должна воплощать в себе такая теория. Единая теория, или теория всего, будучи простой и элегантной, должна обладать достаточной глубиной, чтобы охватывать все. Конечно, каждому хотелось бы верить в существование единственной простой и красивой теории, составляющей фундамент всей физики. Однако Вселенная не так чиста, проста и упорядочена, как наши теории. Даже если единая трактовка возможна, потребуется огромное количество исследований, чтобы связать ее со сложными явлениями, которые мы наблюдаем в окружающем мире.

Иногда в суждениях о красоте мы заходим слишком далеко. Наши студенты любят пошутить в адрес профессоров, которые то и дело называют понятные ученым явления «тривиальными», вне зависимости от того, насколько те на самом деле сложны. Конечно, профессор хорошо знает ответ, и базовые элементы, и логику рассуждений, но студенты-то в аудитории ничего этого не знают. Много позже, когда они научатся раскладывать задачу на простые составляющие, она и для них, возможно, станет тривиальной. Но сначала им придется попотеть.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ

В науке, как и в жизни, не может быть единого критерия красоты. Есть только несколько интуитивных соображений и экспериментально установленных ограничений, которыми мы можем руководствоваться в поиске истины.

Но не будем заблуждаться, в конечном итоге лишь эксперимент определит, какая из научных гипотез верна, если среди них вообще есть верная. Возможно, в науке эстетические критерии и играют какую-то роль, но подлинный научный прогресс нуждается в глубоком понимании, прогнозировании и тщательном анализе данных. Любая гипотеза, как бы красиво она ни выглядела, может оказаться неверной — и тогда ее следует отбросить.

Но, прежде чем добратся до высоких энергий или гипотетических параметров, необходимых для получения верных физических описаний, физики вынуждены догадываться о том, что скрывается за Стандартной моделью, при помощи эстетических и теоретических соображений. Пока, обладая лишь ограниченными данными, мы определяем направление дальнейших исследований исходя из собственного вкуса и возможностей.

В идеале нам хотелось бы подробно рассмотреть последствия самых разных допущений. Делается это в науке при помощи *моделирования*. Мы с коллегами исследуем различные модели физики элементарных частиц — гипотезы о том, какие физические теории могли бы лежать в основе Стандартной модели. Наша цель — отыскать простые принципы организации сложных явлений, свидетелями которых мы являемся на более легкодоступных масштабах, и таким образом прояснить «белые пятна» наших представлений о мире.

При создании физических моделей ученые пытаются сбалансировать выводы, полученные с помощью общепринятой эффективной теории, и гипотетические представления о все более мелких масштабах. При этом мы используем подход «снизу вверх»: берем то, что нам известно, — и явления, которые уже получили объяснение, и те, что продолжают оставаться для нас загадкой, — и пытаемся дописать картину — вывести такую фундаментальную

модель, которая объяснила бы связи между наблюдаемыми свойствами элементарных частиц и их взаимодействиями.

Понятие «модель» может подразумевать и некую физическую структуру — вспомните крохотные копии зданий, которые используются для демонстрации и проработки архитектурных решений. Речь может идти также о численном моделировании, при котором выясняются возможные последствия заданных (известных или предполагаемых) физических принципов, — вспомните моделирование изменений климата или модели распространения заразных заболеваний.

Моделирование в физике элементарных частиц сильно отличается от обоих названных подходов. Однако можно сказать, что модели элементарных частиц чем-то напоминают модели со страниц журналов и подиумов. Как на подиуме, так и в физике модели предназначены для демонстрации новых, иногда весьма причудливых, идей. Так же, как в мире моды, зрителей поначалу привлекают самые красивые — или по крайней мере самые яркие — модели, но в конце концов побеждают самые работоспособные и универсальные.

Этим сходство мира моды и науки исчерпывается.

Физические модели представляют собой предположения о том, что может лежать в основе теорий, которые уже проверены. При принятии решения о том, какие из идей наиболее перспективны и стоят дальнейшей проработки, трудно обойтись без эстетических критериев. Однако не менее важную роль при этом играют непротиворечивость и проверяемость этих идей. Модели описывают «глубинные» физические принципы, применимые на расстояниях и размерах, которые нам пока не удастся экспериментально проверить. При помощи моделей мы можем прояснить для себя сущность и последствия различных теоретических предположений.

Модель — это средство экстраполяции; исходя из известного, мы строим предположения о более универсальных теориях, объясняющих максимально возможное число явлений в мире. Это лишь предположения, которые могут оправдаться или не оправдаться, когда эксперименты позволят нам наконец заглянуть в мир

меньших размеров или более высоких энергий и на практике проверить заложенные в них гипотезы и предсказания.

Имейте в виду, что «теория» — это не то же самое, что «модель». Под словом теория я не подразумеваю свободных и ничем не ограниченных рассуждений, как часто бывает при обычном, бытовом использовании этого слова. Неотъемлемой частью любой теории являются известные физические законы, которым они подчиняются, то есть вполне определенный набор принципов со своими правилами и уравнениями, определяющими взаимодействие элементов.

Но даже если мы полностью понимаем некую теорию и ее следствия, то реализовать ее можно множеством разных способов и каждый из них предскажет свои физические следствия в реальном мире. Моделирование — это способ попробовать различные варианты.

Если представить теорию в программе PowerPoint, то модель — это ваша презентация. Теория допускает различные возможности, но вы используете только те из них, которые нужны для демонстрации вашей точки зрения. Теория покажет, где должен находиться заголовок, а где перечислены по пунктам свойства, но именно модель покажет все, что вы считаете нужным донести до аудитории.

Подход к построению моделей в физике меняется в соответствии с тем, ответы на какие вопросы ищут в настоящее время ученые. Физики всегда пытаются предсказать максимальное число физических величин на базе минимального количества начальных предположений, но это не означает, что самые фундаментальные теории рождаются на пустом месте.

В XIX в. физики неплохо представляли себе температуру и давление и умели применять эти понятия задолго до того, как было получено хоть какое-то их объяснение на более фундаментальном микроскопическом уровне — как результат случайного движения большого числа атомов и молекул. В начале XX в. физики пытались строить модели, которые объяснили бы массу в терминах электромагнитной энергии. Эти модели, хотя и основывались на представлении о работе подобных систем, которое тогда разделяли многие ученые, тем не менее оказались неверны. Немного позже

Нильс Бор построил модель атома, чтобы объяснить наблюдаемый спектр его излучения. Вскоре его модель уступила место более всеобъемлющей теории квантовой механики, которая впитала в себя основную идею Бора, но разработала ее на более высоком уровне.

Сегодня авторы моделей пытаются определить, что лежит в основе Стандартной модели физики элементарных частиц. Эту модель называют Стандартной, потому что она хорошо проработана и многократно проверена экспериментально, но в момент своего появления это была всего лишь догадка о том, как можно объединить все имеющиеся наблюдения в единую систему. Позже на базе Стандартной модели были сделаны проверяемые предсказания, и в конечном итоге эксперименты показали, что она верна.

В настоящее время Стандартная модель объясняет все имеющиеся наблюдения, но физики уверены, что она неполна. В частности, она оставляет открытым вопрос о том, что в точности представляют собой частицы и взаимодействия — элементы так называемого сектора Хиггса, ответственные за массы элементарных частиц — и почему частицы в этом секторе обладают именно такими массами, какими обладают. Теории, выводящие нас за пределы Стандартной модели, демонстрируют более глубокие потенциальные взаимосвязи и взаимодействия, которые могли бы дать ответы на эти вопросы. Строятся они на основе выбора конкретных фундаментальных исходных посылок и физических концепций, а также диапазонов размеров и энергий, на которых они применимы.

Значительная часть моих текущих исследований заключается в размышлениях о новых моделях, а также о новых или более проработанных стратегиях поиска, направленных на то, чтобы никакие новые явления не остались незамеченными. Я думаю не только о созданных на основе моих идей моделях, но и о множестве других возможностей. Специалисты по физике элементарных частиц прекрасно знают, какого типа элементы и правила могут работать в моделях — это частицы, силы и допустимые взаимодействия. Но мы не знаем в точности, без каких именно ингредиентов картина реальности получится неполной. Используя известные теоретические составляющие, мы пытаемся распознать те потен-

циально простые базовые идеи, на которых вырастает сложная теория.

Не менее важно и то, что модели помогают нам выявить цели для дальнейших экспериментальных исследований и предсказать, как поведут себя частицы на расстояниях, меньших, чем те, что ученым до сих пор удавалось изучить эмпирически. Результаты измерений помогают нам сделать выбор. Мы пока не знаем, какой будет новая фундаментальная теория, но уже можем судить о ее вероятных отклонениях от Стандартной модели. Рассматривая конкурирующие модели и их следствия, мы можем предсказать, что продемонстрирует нам БАК, если та или иная модель окажется верной.

Исследование моделей и их следствий помогает понять, что именно следует искать ученым. Любая модель с новыми физическими законами, справедливыми в измеримом масштабе энергий, должна предсказывать существование новых частиц и новых отношений между ними. Наблюдение за тем, какие частицы рождаются при столкновениях и какими они обладают свойствами, должно помочь в решении вопроса о том, какие вообще существуют частицы, какие у них массы и как они взаимодействуют. Обнаружение новых частиц или измерение характеристик различных взаимодействий должно подтвердить или отвергнуть предложенные ранее модели и проложить путь к созданию новых, более удачных.

Если данных будет достаточно, эксперименты определят, какая из фундаментальных моделей верна — по крайней мере на том уровне точности, расстояний и энергии, который мы в состоянии исследовать. Мы надеемся, что на самом крохотном диапазоне расстояний, который мы сможем исследовать при энергиях БАКа, правила для фундаментальной теории окажутся достаточно простыми, чтобы позволить нам вывести соответствующие физические законы.

Среди физиков идут оживленные дискуссии о том, какие именно модели следует изучать и как учитывать их в экспериментальных исследованиях. Я, к примеру, нередко сажусь за стол с коллегами-экспериментаторами, чтобы вместе разобраться, как лучше

всего использовать модели для определения направления дальнейших исследований. Не являются ли слишком специфическими контрольные точки с теми или иными параметрами в конкретных моделях? Нет ли лучшего способа рассмотреть все возможности?

Эксперименты на БАКе настолько сложны, что поиск без конкретной цели ни к чему не приведет: интересные данные будут задавлены массой фоновых событий, связанных со Стандартной моделью. Экспериментальные установки разрабатывались и оптимизировались в расчете на существующие модели, но более универсальный поиск в них тоже ведется. Экспериментаторы обязательно должны представлять себе огромное количество моделей, объясняющих те или иные новые данные, которые могут появиться, — это необходимо, чтобы избежать предвзятости.

И теоретики, и экспериментаторы стараются сделать так, чтобы мы не пропустили ничего интересного. Мы не можем знать, которое из множества предположений верно (если такое есть), до тех пор, пока оно не найдет экспериментального подтверждения. Предложенные модели могут верно описывать реальность, но, даже если они окажутся ошибочными, они все же предлагают нам стратегии поиска и сообщают характеристики еще не открытых элементов. Мы надеемся, что БАК даст нам ответы — какими бы они ни были, — и мы должны быть готовы к этому.