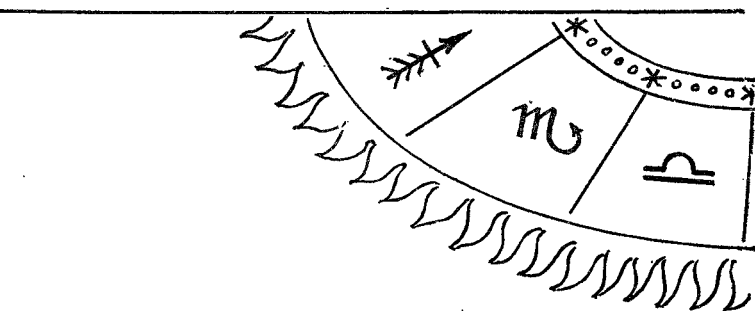
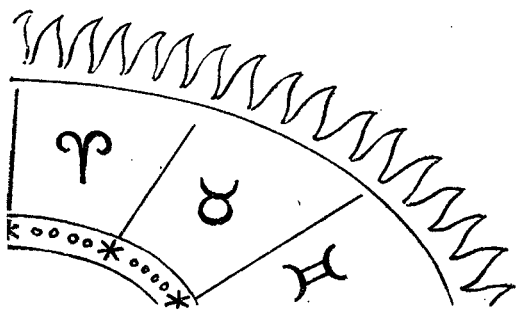
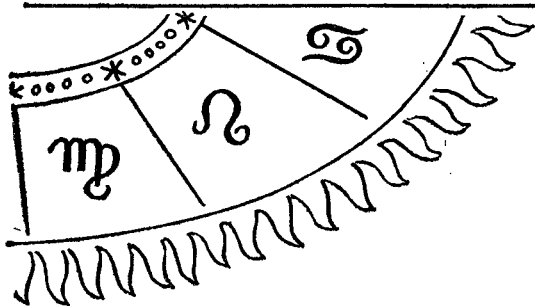


В. Н. Комаров





ПО СЛЕДАМ БЕСКОНЕЧНОСТИ



Комаров В. Н.

К63

По следам бесконечности. М., «Знание»,
1974. 192 с. («Жизнь замечательных идей»).

Бесконечность—одно из древнейших научных понятий. О нем спорили, вокруг него не раз разгорались страсти, и чем глубже и шире наука проникала в материальный мир, тем емче, богаче... и противоречивее становилось его содержание. В этом смысле история формирования понятия «бесконечность» ярко и убедительно демонстрирует диалектичность самого процесса познания.

Именно эта мысль и легла в основу книги, проводящей читателей по основным этапам формирования понятия.

51 (09)

Человечество успешно осваивает космос. Все дальше от Земли уходят космические аппараты, все глубже в таинственные недра Вселенной проникают современные телескопы и радиотелескопы. Уже сегодня научному исследованию доступна колоссальная область пространства с поперечником около 20 миллиардов световых лет¹.

Проведенные в последнее время исследования космических объектов, расположенных у границ наблюдаемой Вселенной, показывают, что с увеличением расстояния число таких объектов постепенно уменьшается. На расстояниях порядка 8 — 10 миллиардов световых лет их совсем мало...

¹ Световой год — расстояние, которое световой луч при скорости около 300 тысяч километров в секунду преодолевает в течение земного года.

И невольно с новой силой возникает вечный вопрос, издавна волнующий мыслителей и ученых: бесконечна ли Вселенная?..

Среди естественнонаучных проблем есть проблемы, исследование которых тесно связано с развитием всего естествознания и человеческой мысли вообще. Каждый серьезный успех, достигнутый в процессе их изучения, открывает новые горизонты, способствуя прогрессу земной цивилизации.

К числу подобных проблем относится и проблема бесконечности, в частности бесконечности Вселенной.

Бесконечность, одно из самых удивительных научных понятий, неизменно привлекает внимание человека. Быть может, это объясняется тем, что в повседневной жизни нам всегда приходится иметь дело только с конечными величинами, с конечным числом тех или иных объектов. Бесконечность манит человека своей необычностью и даже таинственностью. И дело не только в том, что бесконечность трудно, а точнее — невозможно себе представить. Бесконечные множества обладают многими свойствами, которые противоречат нашему привычному опыту.

Бесконечность породила в науке парадоксальные ситуации, которые состоят в том, что признание ее существования вызывает, казалось бы, непреодолимые трудности, а отказ от нее ведет к трудностям еще большим.

И тем не менее бесконечность — это вполне реальное свойство или совокупность свойств окружающего нас мира, и как всякое реально существующее свойство она доступна научному познанию и может быть изучена как качественно, так и количественно. С бесконечностью встречаются и бесконечность изучают не только математика, но и физика, и астрономия, и философия.

По существу, идея бесконечного пронизывает всю историю познания человеком окружающего мира и своего места в нем.

С обыденной точки зрения бесконечность — это нечто чрезвычайно расплывчатое, аморфное, ускользающее, лишенное четкой определенности, не допускающее ни точного измерения, ни сопоставления. Бесконечность — и этим все сказано...

В действительности же науке известны различные и притом совершенно конкретные типы бесконечности. Прежде всего это практическая бесконечность. Речь идет

о таких больших величинах, которые формально хотя и копечны, но в рамках той или иной задачи фактически настолько велики или малы, что воспринимаются как практически бескопечные. Скажем, с точки зрения ядерной физики расстояние в один микроп бескопечно велико, а с точки зрения астрономии расстояние в один сантиметр бескопечно мало. С такого рода бескопечностью современному естествознанию приходится встречаться в большинстве физических приложений математики. Поэтому ее можно еще назвать физической.

Однако практическая, или физическая, бескопечность — это все-таки еще не бескопечность в строгом значении этого слова. Наиболее простая и, если можно так сказать, наглядная бескопечность — бескопечность чисел натурального ряда. К ней примыкает так называемая теоретико-множественная бескопечность, то есть разного рода множества, содержащие бескопечное число элементов.

В геометрии и астрономии рассматривается метрическая бескопечность — такие пространственные многообразия, площади или объемы которых нельзя выразить конечным числом.

Существует и еще один бескопечный процесс — бескопечное приближение числовой последовательности к некоторому пределу. И это не только чисто математическая конструкция. С такого рода процессами наука встречается и в природе. Скажем, можно как угодно близко подойти к абсолютному нулю температуры или к скорости света в пустоте, но мы никогда в реальном физическом процессе не достигнем этих мировых констант в точности.

Возможен и такой тип бескопечности, как бескопечная делимость. Например, бескопечная делимость пространства и времени.

Один из важнейших типов бескопечности, являющийся предметом философского анализа и исследования, — неисчерпаемость реального мира. С одной стороны, это бескопечность числа физических явлений и условий, которые реализуются в природе, а с другой — бескопечный характер процесса познания мира человеком.

Таким образом, проблема бескопечности — это очень сложная комплексная проблема. Понятие бескопечности имеет богатое и разнообразное содержание. И на разных

этапах развития науки различные ее области выдвигают на первый план те или иные типы бесконечности.

Итак, бесконечность вовсе не условная математическая конструкция — она отражает реальные свойства окружающего нас мира. И не случайно чуть ли не вся история математики, физики и астрономии самым тесным образом переплетается с исследованием проблемы бесконечного.

Одним из фундаментальных вопросов науки, непосредственно связанных с проблемой бесконечности, является вопрос о геометрических свойствах Вселенной.

Великие философы древности пытались решить этот вопрос с помощью сравнительно простых и, казалось бы, на первый взгляд неопровержимых логических рассуждений.

Представим себе, говорили они, что у Вселенной есть край и человек достиг этого края. Стоит ему только вытянуть руку — и она окажется за границами Вселенной. Но тем самым рамки материального мира раздвигаются еще на некоторое расстояние. Тогда можно будет приблизиться к новой границе и повторить ту же операцию еще раз. И так без конца. Значит, Вселенная не может иметь границ.

«Нет никакого конца ни с одной стороны у Вселенной, ибо иначе края непременно она бы имела», — писал Лукреций Кар в своей поэме «О природе вещей».

И действительно, если необычайно трудно, почти невозможно представить себе пространство, которое в любом направлении простирается безгранично далеко, то еще труднее вообразить обратное, то есть что у Вселенной где-то существует край, есть граница. Ведь в таком случае действительно возникает вполне естественный вопрос: а что находится дальше?

Однако обращение к «очевидности» не может служить основанием для серьезных научных выводов. Мы многого не можем себе представить, но это само по себе еще ничего не доказывает. Что же касается рассуждения Лукреция, то оно хотя внешне и логично, но на самом деле опирается на наши привычные земные представления. При этом молчаливо предполагается, что они справедливы везде и всегда. Между тем весь опыт познания природы убедительно доказывает, что так называемая «на-

глядность» весьма ненадежный советчик при решении научных вопросов.

Можно вспомнить хотя бы о тех возражениях, которые вызывала в свое время идея кругосветного путешествия, выдвинутая Магелланом. Ее противники как раз основывали все свои возражения на паглядности. Как можно, восклицали они, двигаясь все время по прямой в одном направлении, вернуться в ту же точку?! Возможность такого результата противоречила общепринятым житейским представлениям, противоречила обыденному здравому смыслу. Но, как известно, действительность подтвердила предположение Магеллана.

Аналогичные возражения встретила идея антиподов: если Земля шарообразна, то как могут люди жить на другой ее стороне — ведь им приходится ходить вниз головой?!

«...Здравый человеческий рассудок,— писал Фридрих Энгельс,— весьма почтенный спутник в четырех стенах своего домашнего обихода, переживает самые удивительные приключения, лишь только он отважится выйти на широкий простор исследования»¹.

Здравый смысл — порождение конкретной исторической эпохи, он отражает фактически достигнутый уровень знаний. Но мир бесконечно разнообразен, а наши знания о нем всегда относительны — они имеют определенные границы применимости. Где пролегают эти границы — заранее неизвестно. И потому нередко совершаются попытки применять существующие научные представления к описанию таких явлений, которые на самом деле им не подвластны. Так возникают заблуждения — незнание, временно принимаемое за знание.

Это и есть здравый смысл, соответствующий определенному уровню развития науки: «знания плюс заблуждения».

Таким образом, здравый смысл — явление относительное, временное, он включает в себя не только знание, но и заблуждения. И, следовательно, на него нельзя полагаться при решении научных проблем, в особенности сложных научных проблем.

Поэтому не удивительно, что представления о бесконечности с развитием науки не раз претерпевали весьма

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 21.

серьезные изменения. Это в особенности относится к представлениям о бесконечности Вселенной, история развития которых напоминает увлекательный детективный роман с неожиданными загадками и непредвиденными поворотами.

Исходная версия древних, основанная на наглядности и здравом смысле, версия, казавшаяся несомненной и очевидной, затем начисто опровергается. Но вскоре выясняется несостоятельность и новой версии и происходит возврат к первоначальному выводу, хотя и выступающему в новом качестве. После этого совершается вновь крутой поворот, а «под занавес» выясняется, что истина не похожа ни на одно из обсуждавшихся предположений.

И это перечисление еще далеко не полно отражает содержание того мастерски закрученного повествования, главным героем которого является Бесконечность.

Это она вызвала, например, кризис в основаниях математики, поставила труднейшие, до сих пор нерешенные задачи перед физикой элементарных частиц.

Даже сам вопрос о существовании и свойствах бесконечного породил множество удивительных проблем и столкнул ученых лицом к лицу с неразрешимыми парадоксами.

И совершенно прав был выдающийся математик XIX столетия Давид Гильберт, когда писал: «С давних пор никакой другой вопрос так глубоко не волновал человеческую мысль, как вопрос о бесконечности. Бесконечное действовало на разум столь же побуждающе и плодотворно, как едва ли действовала какая-либо другая идея...»

История изучения бесконечности тесно связана с принципиальными, поворотными моментами развития естествознания. И проследить почти такую же долгую, как сознательное существование человечества, полную драматических событий жизнь этой замечательной идеи не только в высшей степени интересно, но и весьма поучительно. Ведь история выдающихся научных идей — это не просто музей, где покрываются пылью любопытные экспонаты, относящиеся к различным эпохам. Опыт истории науки дает ключ к пониманию характера происходящих в ней процессов, помогает не только постичь «связь времен», но и понять внутренние закономерности движения научной мысли, заглянуть в ее будущее, значительно

облегчает объективную оценку вновь возникающих идей и теорий, составляющих последнее слово науки.

«Изучение прошлого, в том числе и научной мысли, всегда приводит к введению в человеческое сознание нового», — отмечал выдающийся советский ученый академик В. И. Вернадский.

Наука — это не только история открытий, не только свод законов природы и правил для решения различных задач. Это нечто неизмеримо большее. Уже сами поиски новых путей в науке требуют иногда отказа от того способа мышления, который утвердился вместе с общепризнанными привычными научными теориями и сделался своеобразной монополией, стал частью здравого смысла. Поэтому результаты подобных поисков необыкновенно поучительны и обладают далеко идущими последствиями.

Казалось бы, проблема бесконечного принадлежит к числу самых абстрактных научных проблем, имеющих весьма отдаленное отношение к практической деятельности людей и их повседневной жизни.

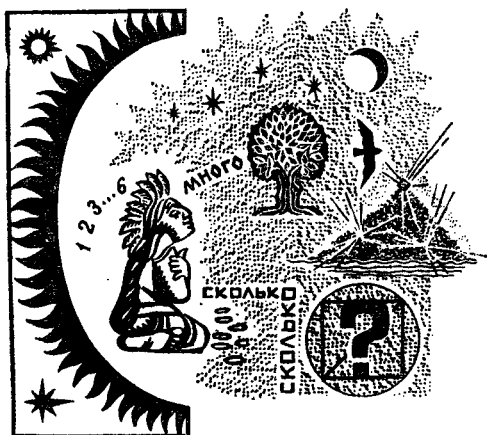
На самом же деле история изучения бесконечности — это не только история создания новых страниц математики, астрономии и физики, это, по существу, история развития человеческой мысли.

А от ученых исследование бесконечности требовало и требует дерзкого полета воображения, оригинальности мышления, способности преодолевать гнет традиционных представлений, умения раздвигать рамки общепризнанных теорий и прокладывать новые неизведанные пути.

Эта книга — рассказ об истории развития одной из самых поразительных научных идей — идеи бесконечности.

Но идеи не рождаются и не развиваются сами по себе — это также рассказ о тех людях, которые двигали ее вперед.





РОЖДЕНИЕ ИДЕИ

Неизведанными путями

Бескопечность — объективное свойство окружающего нас мира. Но человек познает бесконечность, сталкиваясь при этом с весьма сложными проблемами, парадоксальными ситуациями, многочисленными противоречиями, с удивительными фактами, вступающими в конфликт с привычным здравым смыслом.

Впрочем, с не меньшими трудностями приходится сталкиваться ученым и при решении многих других фундаментальных научных задач. И, пожалуй, самая большая сложность в процессе познания окружающего нас мира состоит в том, что исследователю никогда не удастся поставить последнюю точку и посчитать миссию науки в изучении того или иного вопроса полностью завершённой.

Разумеется, основные, главные черты любого явления будут рано или поздно обнаружены и исследованы, но

в принципе даже отдельный, единичный предмет — и тот бесконечно разнообразен во всех своих бесчисленных связях и отношениях.

«Стакан есть, бесспорно, и стеклянный цилиндр и инструмент для питья, — говорил В. И. Ленин. — Но стакан имеет не только эти два свойства или качества или стороны, а бесконечное количество других свойств, качеств, сторон, взаимоотношений... со всем остальным миром. Стакан есть тяжелый предмет, который может быть инструментом для бросания. Стакан может служить как пресс-папье, как помещение для пойманной бабочки, стакан может иметь ценность, как предмет с художественной резьбой или рисунком, совершенно независимо от того, годен ли он для питья, сделан ли он из стекла, является ли форма его цилиндрической или не совсем, и так далее и тому подобное»¹.

Энгельс также неоднократно подчеркивал, что научное познание ни в коем случае не заключается в погоне за вечными истинами.

По существу, любое научное открытие — это то, о чем вчера еще люди даже не подозревали и благодаря чему завтра они будут смотреть на мир уже в чем-то изменившимся взглядом.

Совсем недавно, лет десять-пятнадцать назад на страницах научно-популярных журналов, на лекциях и даже на ученых дискуссиях звучала такая, например, категорическая фраза:

— Вселенная бесконечна в пространстве и во времени.

И еще добавлялось, что усомниться в этом равносильно признанию религиозных взглядов. Если Вселенная конечна — значит, за ее пределами находится царство божие, а если она имела начало — значит, ее сотворил бог.

— Утверждение, о котором идет речь, по существу, не имеет смысла, — говорит эстонский академик Густав Иоганнович Наан. — Ведь точно не определено, ни что такое Вселенная, ни что такое бесконечность, ни что такое, наконец, бесконечность Вселенной.

Но если дело, действительно, обстоит так — как же подступиться к бесконечности? И можно ли подступиться вообще?

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 42, стр. 289.

— По-моему, при знакомстве с бесконечностью, — поясняет академик, — люди обычно переживают три стадии. Сперва кажется, что все совершенно ясно, что и проблемы-то вообще никакой нет и все проще пареной репы — Вселенная бесконечна и баста. Но вскоре приходит второй этап, когда начинают задумываться, а что же такое бесконечность? Тогда наступает состояние, которое даже получило специальное название: «хорре инфипите» — «ужас бесконечного». Этот ужас связан прежде всего с неисчерпаемостью, недостижимостью, ненасытностью бесконечности. Ну и, наконец, третий этап — когда, несмотря на своеобразный характер бесконечности, ее все же начинают изучать строго научными методами.

Даже многие математики утверждают, что когда они начинают всерьез размышлять о бесконечности — мутится рассудок.

— Есть такой афоризм, — улыбается Наан, — когда меня никто не спрашивает, что такое бесконечность, мне кажется, я знаю, что это такое. Но стоит задуматься, как выясняется, что знаю не так уж много.

Но как же в таком случае быть с проблемой бесконечности Вселенной?

Как-то на одном из научных семинаров, посвященных проблемам современной астрономии, один молодой ученый заметил, что на том уровне развития науки, который достигнут сегодня, ситуацию лучше всего охарактеризовать примерно так:

— Мы знаем, что Вселенная бесконечна, но не знаем, в каком смысле...

Тогда это заявление вызвало оживленную дискуссию. Одни утверждали, что подобная фраза всего лишь «парадокс ради парадокса», что на самом деле за этим утверждением ничего не стоит.

Другие, наоборот, поддерживали автора парадоксального высказывания. Они говорили, что по мере развития науки все отчетливее выясняется, что мир, окружающий нас, значительно сложнее, чем это представлялось еще сравнительно недавно. И свойства его сосредоточены не только в противоположных полюсах, но и заполняют все необозримое пространство между ними. Вот почему все чаще и чаще развитие научных знаний ставит нас перед невозможностью простого выбора одной из взаимоисключающих крайностей. А значит, и проблему бесконечности

Вселенной мы не можем считать полностью решенной — она таит в себе еще много неясного, нераскрытого, немало всяких неожиданностей.

Наконец, были и такие, кто утверждал, что обсуждаемое высказывание неверно по существу. Хотя мы, само собой разумеется, знаем далеко не все, но знаем уже достаточно много.

Как же все обстоит в действительности?

В этом мы и постараемся разобраться, проследить развитие идеи бесконечности в естествознании и философии от древних времен до наших дней.

Конечное и бесконечное

Если даже в наш век — век атомной энергии, кибернетики и освоения космоса, век величайшей научно-технической революции — ученый испытывает при встрече с бесконечностью столь серьезные затруднения, то какие же сложные и неожиданные задачи ставило ее изучение перед нашими предшественниками?

Некий исследователь, изучавший жизнь отсталых племен Бразилии, вспоминает, как однажды он спросил у одного туземца, велика ли деревня соседнего племени?

Вместо ответа туземец взял палку и начертил на песке несколько кругов — что-то около полутора десятков. На самом же деле в деревне было больше сотни домов. Но туземец умел считать лишь до шести, а все, что превосходило это число, представлялось ему неисчислимым. Изобразив пятнадцать кругов, он по-своему был точен: ведь пятнадцать больше шести, а все, что больше шести, есть «много». Нарисуй туземец девять или двенадцать, или двадцать семь кругов, смысл его ответа не изменился бы — жилищ много.

Можно предположить, что и для первобытных людей, которые, по свидетельству историков, чаще всего умели считать только до трех, изредка до пяти, в лучшем случае до десяти, представление о том, что такое «много», было весьма неопределенным и расплывчатым.

Ведь жизнь, как правило, требовала от наших далеких предков лишь весьма несложных подсчетов. Что, в самом деле, приходилось им считать? Своих детей? Дни переходов от одной стоянки до другой? Не было ли де-

нег, ни исчисления времени, ни счета дней в году... И когда люди встречались с большими количествами чего-то, туманное «много» их вполне удовлетворяло.

И все же, несмотря на всю неопределенность и расплывчатость, в этом «много» уже был заключен первый шаг к познанию бесконечности. Ведь «много» для первобытного человека — это то, что лежало за пределами его возможностей, то, чего он не мог, не в состоянии был сосчитать.

Еще один шаг к осознанию бесконечности, как ни покажется странным, был совершен нашими далекими предками в результате наблюдения жизни и смерти. Умирал соплеменник. Первобытным людям трудно было осознать в полной мере это событие, понять, что произошло. Еще вчера человек был, сидел рядом со всеми у костра, вместе со всеми ходил на охоту, И вот его нет...

Но в снах он и после этого являлся живущим, значит, продолжал жить. Невольно складывалось впечатление, что человек не умирает никогда. Хотя, разумеется, в те времена люди еще не могли всерьез задумываться над проблемой вечной жизни.

«Никогда» — обратная сторона того, что обозначено словом «всегда». Должны были пройти еще долгие века, прежде чем человек сумел понять всю глубину, сложность и противоречивость этих понятий. Но впервые он столкнулся с ними уже на заре цивилизации.

Даже нашим современникам, привыкшим к абстрактным размышлениям и операциям с огромными числами, бесконечность представляется чем-то в высшей степени загадочным. Первобытные же люди мыслили конкретно. И все, что невозможно было представить, казалось им таинственным и непостижимым, приобретало в их глазах фантастический, а по существу религиозный смысл.

Между прочим, подобный источник религиозных взглядов, связанный с невозможностью наглядного представления тех или иных явлений природы, действовал на протяжении всей сознательной истории человечества. Существует он и по сей день.

И бесконечность как одно из самых абстрактных понятий, с которым когда-либо приходилось встречаться науке, играла в этом смысле не последнюю роль. Справедливо подметил немецкий исследователь Макс Мюллер, что «религия возникает из давления бесконечного на ко-

нечное». Это, разумеется, не единственная и не самая главная причина религиозных представлений, но тем не менее она действовала в прошлом, продолжает действовать и сейчас.

Уже в глубокой древности люди стали прибегать к помощи больших чисел. Хотя для их изображения они чаще всего использовали всевозможные сравнения.

На гробнице египетских жрецов, например, можно встретить надписи, относящиеся к XIV веку до нашей эры, где большие числа описывались так: «как число песку берега моря», «как вес горы, взвешенной на весах», «как листьев на деревьях».

В одной из индийских легенд о Будде рассказывается, будто бы еще в детстве он был подвергнут испытанию в математике и, постепенно переходя ко все более крупным числам, дошел до таких, которые изображали все песчинки, содержащиеся в миллионе (в переводе на современное исчисление) рек, подобных Гангу.

А вот с помощью какого сравнения описывает восточная притча вечность во времени: «Вот алмазная гора высотой в тысячу локтей. Раз в столетие прилетает птичка и точит свой клюв о гору. Когда она сточит всю гору, пройдет первое мгновение вечности».

В дальнейшем, с развитием математического счета, человек естественно и закономерно пришел к числовой бесконечности. Если прибавлять к единице единицу за единицей, мы будем получать все большие и большие числа. Но подобную операцию можно повторять сколько угодно раз. Значит, самого большого числа не существует? Значит, натуральный ряд не имеет конца, он ничем не ограничен, он теряется где-то в необозримых числовых пространствах?..

Возможно, именно так, задумавшись над операцией последовательного прибавления единицы, наши предки однажды лицом к лицу столкнулись с проблемой конечного и бесконечного.

На первой ступени познание природы человеком носило созерцательный характер и было неотделимо от наглядных представлений о мире, от тех сведений, которые приносили об окружающем органы чувств и прежде всего зрение. Человек стремился выразить неизвестное через наблюдаемое известное, объяснить новые предметы через те, которые уже познаны. По мере дальнейшего

развития науки развертывался обратный процесс — человек стал объяснять видимое через скрытое и невидимое.

Один из первых шагов в этом направлении совершили мыслители Древней Греции.

Древние греки и бесконечность

В VII—V веках до нашей эры поразительных успехов добилась греческая философия, которая дала науке целый ряд гениальных догадок и смогла подняться до постановки многих кардинальных проблем, сохранивших свою актуальность и до сегодняшнего дня.

Среди таких проблем, привлекавших внимание древнегреческих мыслителей, важное место занимала проблема бесконечного.

Именно тогда были заложены основы современной математической науки, которая стремится ответить не только на вопрос «как?», но и на вопрос «почему?». Этим математика греков с самого начала отличалась от математики Востока, где ученые почти не занимались теорией.

Вообще древние греки не выделяли математику из общего знания. Их философия была натурфилософией, охватывавшей и математику и физику. И потому первоначально философское и математическое понятия бесконечности были слиты в древнегреческой науке воедино.

Отцом греческой математики, как гласит предание, был родовитый гражданин города Милета, богатый купец Фалес (конец VII века — начало VI века до н. э.). В первой половине VI столетия он посетил Вавилон и Египет и познакомился там с немалым числом научных открытий.

Но, судя по всему, это отнюдь не было простое заимствование. Фалес не просто знакомил своих соотечественников с научными положениями египтян и вавилонян, но стремился доказать их справедливость.

По свидетельству историков, Фалес был патриархом греческих мудрецов, первым изобретателем геометрии у греков, самым сведущим наблюдателем небесных светил. Он определил продолжительность года, изучал движение Луны и планет, атмосферные явления и многое другое.

Ему дважды доставался золотой треножник, который по повелению дельфийского оракула присуждался мудрейшему из эллинов.

Именно в милетской школе философов, основанной Фалесом, и появилось впервые в древнегреческой науке понятие бесконечности.

К сожалению, история не сохранила сведений о том, как Фалес сам понимал бесконечность. Но его преемник и последователь Анаксимандр (около 610 г.— 546 г. до н. э.) создал учение об «апейроне» — беспредельном, первоматерии, бесконечной в пространстве и во времени, вечно движущейся, обладающей бесчисленным количеством качеств.

— Вселенная, — говорил он, — бесконечна и бесчисленны ее миры.

Другой представитель милетской школы Анаксимен (VI век до н. э.) был астрономом. Периодически повторяющееся движение небесных тел привело его к мысли о том, что бесконечность связана с цикличностью, вечным круговоротом материи.

Одним из самых выдающихся философов Древней Греции, задумывавшимся над проблемой конечного и бесконечного, был Пифагор (около 580 г.— 500 г. до н. э.). В молодости он объездил много стран, побывал на Востоке и в Египте, познакомился с восточными религиозными мистериями и даже был принят в касту египетских жрецов.

Красивый и величественный, он обращал на себя внимание и невольно внушал благоговейное чувство. К тому же Пифагор при всех обстоятельствах держал себя спокойно и с достоинством. Он казался многим таинственным существом высшего порядка, непохожим на других.

Сам Пифагор охотно поддерживал слухи о своей сверхъестественности и даже выдавал себя за посланца высших сил. Он утверждал, что произошел не от людей, а особым образом. Есть три вида разумных существ, говорил он, боги, люди и подобные Пифагору.

— Я некогда был сыном бога Гермеса, — сообщал он при всяком удобном случае.

В то время из Фракии в Грецию пришел культ страдающего бога Диониса, или Вакха. Его последователи смотрели на жизнь как на тяжкое испытание.

— Нет средь людей никого, кто был бы счастлив на свете! — трагически восклицал поэт Солон. — Все несчастны, над кем солнце на небе блесит.

При рождении ребенка близкие усаживались вокруг и оплакивали младенца, скорбя о несчастьях, которые ожидают его в жизни. Умерших же погребали с радостью и ликованием, полагая, что теперь они избавились от всех зол и живут в вечном блаженстве. Жены умерших даже ожесточенно ссорились друг с другом за честь быть умерщвленными на могиле мужа.

— Кто скажет нам, — вопрошал Еврипид, — не смерть ли жизнь земная и смерти час — не жизни ли пачало?

И подобно тому, как это было у первобытных людей, тайна жизни и смерти, смерти и бессмертия невольно побуждала древних греков к философским размышлениям о конечном и бесконечном. Но, как и у первобытных предков, рассуждения такого рода носили явно религиозный характер.

Пифагор не был последователем культа Диониса. Гораздо больше по душе пришлось ему учение реформатора дионисийского культа Орфея — основателя новой религиозно-мистической секты. Собственно учение орфиков было как бы оборотной стороной вакхического культа. Если жизнь ограничена и все существующее и возникающее должно быть готово к несчастьям и горестной гибели, то человек в священном безумном экстазе должен «выйти из себя» и слиться со всем окружающим в мистическом единстве.

Поэтому члены секты орфиков видели цель жизни в духовном очищении от «земной скверны» с помощью музыки, таинственных обрядов и созерцательного погружения в себя. От орфиков Пифагор вынес убеждение, что главная цель, к которой должен стремиться человек, — это нравственное и интеллектуальное самосовершенствование, поиски истины. Когда человек вдохновенно прозревает истину, его должен охватывать вакхический восторг. Искать же истину, полагал Пифагор, следует в сочетаниях музыкальных звуков и математических символов.

Вот каким путем Пифагор пришел к занятиям математикой и к мистике чисел.

Он основал свой собственный орден, не то что-то вроде первобытной общины, не то монастырь, не то школу, ку-

да поступали, чтобы обучаться в течение всей жизни. Его основой было учение о переселении душ, такое мистическое представление о бесконечности человеческой души.

По утрам, просыпаясь, члены ордена задавали себе всегда один и тот же вопрос:

— Что я должен сделать сегодня?

А вечером, прежде чем отойти ко сну, спрашивали себя:

— В чем сегодня я погрешил? Чего не сделал?

В отведенные часы посвященные собирались в специальном помещении, часть которого была отгорожена тяжелым занавесом. Там, за занавесом, невидимый для присутствующих пахотился Учитель — Пифагор.

— Кто ты такой? — спросил его однажды один из тех, кто после тщательного отбора и испытательного срока все еще мог в течение нескольких лет общаться с мудрецом только через занавеску. — Кто ты? Чудотворец? Святой? Или, может быть, жрец?

— Нет, — отвечал голос. — Я не чудотворец, не жрец и не святой. Я — философ.

— Что это значит? — осведомился удивленный юноша. — Я никогда не слышал такого слова.

— Тогда послушай, — раздался голос. — В этом мире есть три сорта людей. Они похожи на тех, кто приходит на Олимпийские игры. Одни приходят для борьбы и состязаний. Другие покупать и продавать. Третьи приходят просто наблюдать. Эти — лучше всех. Так и в самой жизни: люди суетятся и становятся либо рабами славы, либо богатства. Мудрые же созерцают, они искатели истины, только к ней они и стремятся. Это и есть философы.

По вот наступил день, когда Пифагор предстал перед своими учениками без занавеса. Облаченный в белые льняные одежды, он держался величественно, говорил неторопливо, с достоинством.

— В чем сущность вещей? — начал он и после многозначительной паузы ответил: — В числах! В чем первооснова, первоначало всего сущего? В числах. Что определяет все качества и свойства вещей? Числа! Числа! И только числа! Число — первичный элемент всякой вещи, ее принцип. Вещи подражают числам. Копечны ли числа? Вне всякого сомнения. Число не может быть бесконечным. Ведь числа — всегда четные или нечетные. А бесконечное число не является ни четным, ни нечетным.

Пифагор снова выдержал многозначительную паузу и пытливо оглядел своих учеников, как бы приглашая их к беседе.

— Учитель, — осмелился спросить один из них. — Я слышал, что мудрецы из Милета утверждают, будто первоначало всего сущего — апейрон, материя, бесконечная и безграничная.

Пифагор, не торопясь с ответом, медленно прошелся перед своими слушателями. Потом весомо сказал:

— Первоначало — число... И оно — конечно.

— А беспредельное? — последовал вопрос. — Существует ли оно?

— Беспредельное — пустота, неограниченная и неосязаемая. Отсутствие бытия, небытие. Пустота проникает извне через небесный свод внутрь Вселенной и разграничивает предметы, разделяет числа.

Пифагор помолчал, как бы оценивая впечатление, произведенное его словами, а затем продолжал назидательно:

— Число — олицетворение добра, а бесконечная пустота — олицетворение зла. Конечно и упорядоченное неизмеримо ценнее, чем бесконечное и неопределенное. В конечности — красота и совершенство. В безграничности — незавершенность и несовершенство. Следует преклониться перед конечным и питать отвращение к бесконечному.

В мистическом учении пифагорейцев сказалась одна из характерных особенностей древнегреческой науки. У греков впервые получил применение метод абстракции, то есть когда любой объект рассматривался лишь с точки зрения его пространственной формы, а от всех прочих свойств исследователь отвлекался.

Этот метод был выдающимся достижением человеческой мысли. Именно благодаря ему достигла небывалого уровня обобщения греческая геометрия.

Но операции с «чистыми формами» таят в себе опасность. Поскольку выполняются они не опытным путем, а с помощью одних только логических рассуждений, — может сложиться впечатление, что математические понятия существуют сами по себе, независимо от каких бы то ни было реальных материальных основ. Такая ситуация и в дальнейшем не раз складывалась в естествознании, приводя определенную часть ученых к глубоко оши-

бочным идеалистическим выводам о первичности духовного пачала.

Пифагорейская мистика чисел была одним из первых идеалистических учений, возникших в результате безудержного абсолютизирования математических абстракций.

Бессмертные парадоксы

Как мы уже отмечали в начале этой книги, понятие бескопечного — одно из самых парадоксальных понятий, с которым когда-либо встречался человек.

Бескопечное противоречит повседневному жизненному опыту, противоречит очевидности, противоречит привычному здравому смыслу.

И только тот исследователь может достичь успеха в изучении бесконечности, который обладает способностью парадоксально мыслить, преодолевать гипноз привычных представлений, подниматься над обыденным здравым смыслом.

Опыт истории науки убедительно свидетельствует о том, что человек в своих научных исследованиях и в жизни следует одним и тем же принципам. Любой человек всегда остается самим собой, чем бы он ни занимался.

У древнегреческих мыслителей сходство между научными рассуждениями и обыденным мышлением обнаруживается с особенной отчетливостью. Не случайно многие аптичные философы и в жизни поступали вопреки общепринятому, вопреки утвердившемуся повседневному здравому смыслу. И, видимо, не случайно именно те мыслители, которые обнаруживали особую склонность к парадоксальному мышлению, отличались оригинальным отношением к жизни и необычным поведением, добивались наиболее значительных успехов в развитии философских представлений об окружающем мире, в том числе и в изучении бесконечности.

Яркий пример тому Эмпедокл (около 490 г. — 430 г. до н. э.) — один из выдающихся мыслителей древности. Он жил в Сицилии, пользовался величайшим уважением своих соотечественников и при желании мог бы занять высокое положение. Ему даже предлагали царский венец, но Эмпедокл, не раздумывая, отказался от столь заманчивой перспективы. И в то же время он вполне благо-

склонно относился к тому, чтобы его считали божеством.

Эмпедокл яростно обличал роскошь, но сам разгуливал в дорогих одеждах с золотой повязкой на голове.

А когда мудрецу наскучила жизнь, он рассчитался с ней весьма оригинальным способом — прыгнул в кратер вулкана Этна.

Судя по всему столь странный поступок Эмпедокла непосредственно вытекал из его философского учения, согласно которому ничто в мире не возникает из ничего и ничто не пропадает бесследно, а следовательно, мир бескопечен во времени.

Этот сицилийский мудрец писал:

Но и другое тебе я поведаю: в мире сем тленном
Нет никакого рожденья, как нет и губительной смерти.
Есть лишь смешенье одно с размешеньем того, что смешалось,
Что и зовут неразумно рождением темные люди.
Глухие! Как близорука их мысль, коль они полагают,
Будто действительно раньше не бывшее может возникнуть,
Иль умереть и разрушиться может совсем то, что было.
Ибо из вовсе не бывшего сущее стать не способно...

Но, пожалуй, самым большим оригиналом среди всех древнегреческих философов был Зенон Элейский (около 490 г. — 430 г. до н. э.), приемный сын и любимый ученик выдающегося мыслителя Парменида (конец VI века — V век до н. э.), человек, которому суждено было заложить подлинно научный фундамент исследования бесконечного.

Этому в немалой степени способствовало и доведенное у древних греков едва ли не до совершенства искусство спора. В публичных дискуссиях и состязаниях ораторов, где победа определялась прежде всего авторитетом логических доказательств и способностью убедить присутствующих, родилось и было отточено острое оружие: умение доказать свою правоту путем столкновения противоречивых доводов и посылок. Соперники изобретали впечатляющие аргументы, рассыпали перлы остроумия, старались подловить своего противника, заманить в ловушку, поставить его в безвыходное положение. Судьи тут же определяли победителя.

Да и сама греческая философия развивалась в усло-

виях постоянных споров, острой полемики различных философских школ и направлений.

В отличие от Востока, где громадную, определяющую роль играла сила традиций и где мыслители и философы выступали в роли непогрешимых пророков, вещающих непрерываемые истины, греки выние всего ценили разум и были твердо убеждены в том, что все в мире может быть понято и исследовано с помощью чисто логических рассуждений и доказательств.

Благодаря этому греческие философы чувствовали себя во многом независимыми от предвзятых представлений об окружающем мире. Мысль их парила свободно и не страшилась даже таких утверждений, которые на первый взгляд могли показаться абсурдными.

Этот полет смелой мысли, а также приобретенная в бесчисленных спорах и диспутах привычка к парадоксальным рассуждениям и заключениям несомненно сыграли первостепенную роль в поразительных достижениях древнегреческой науки, в особенности математики, и, в частности, в изучении бесконечности.

За долгие годы занятий философией Зенон выработал в себе блестящую способность опровергать противника и посредством возражений ставить его в затруднительное положение, научился рассматривать один и тот же предмет с противоположных сторон.

— Без всестороннего и обстоятельного разыскания невозможно уразуметь истину, — говорил он.

Зенон обладал не только выдающимся умом, но и, пожалуй, лучше, чем кто бы то ни было, умел мыслить парадоксально — многие его рассуждения и заключения оказывались неожиданными даже для самых выдающихся мудрецов.

Эта удивительная способность к парадоксальным выводам и привела Зенона к его знаменитым апориям — одному из самых поразительных достижений человеческой мысли.

Во времена Зенона в древнегреческой математике и философии со всей остротой встал вопрос о свойствах пространства и времени, теснейшим образом связанный с представлениями о конечном и бесконечном. Вопрос ставился так: можно ли и до каких пор осуществлять процесс делимости тела, пространства и времени? Завершится ли когда-либо такой процесс или он будет продолжаться беспрестанно?

Одна из первых концепций бесконечности была выдвинута выдающимся философом-материалистом Анаксагором (около 500 г. — 428 г. до н. э.), известным своей непримиримой борьбой с мистикой и религией.

Началом всего сущего Анаксагор считал «гомеомерию» — бесконечное число элементов материи. Их сочетания дают все многообразие вещей.

Процесс деления тела бесконечен, утверждал он, и потому нет смысла говорить о его конечном результате. Следовательно, не существует наименьших неделимых частиц. Число частиц, из которых состоит данная вещь, всегда можно увеличить.

«И в малом ведь нет наименьшего, по всегда есть меньшее. Ибо бытие не может разрешиться в небытие, но и в отношении к большому есть большее. И оно равно малому по количеству. Сама же по себе каждая вещь и велика и мала».

Следовательно, бесконечное существует в обе стороны. Это была первая математическая формулировка понятия бесконечно большого и бесконечно малого как возможности увеличения сверх любой заданной величины и возможности неограниченного деления.

Но если пространственные элементы и промежутки времени можно делить без конца, то пространство и время непрерывны.

Наряду с концепцией Анаксагора существовала и другая, противоположная концепция, одним из родоначальников которой был Демокрит (около 460 г. — 370 г. до н. э.), — учение о «неделимых», мельчайших частях линий, поверхностей и тел. Демокрит признавал бесконечность Вселенной и числа атомов во Вселенной. Но считал, что тело нельзя делить бесконечно, а лишь до неделимых атомов. С помощью этой теории Демокриту удалось решить несколько очень трудных математических задач — например, найти выражение для объема пирамиды.

Но поскольку в распоряжении древних греков не было никаких экспериментальных фактов, по которым можно было бы судить о действительных свойствах реального пространства и реального времени, споры между сторонниками Анаксагора и Демокрита были в то время довольно беспредметными.

Величайшая заслуга Зенона состоит в том, что он впервые показал: и та и другая концепция ведут к глубоким противоречиям и парадоксам.

Парадокс — утверждение, которое непосредственно вытекает из привычных представлений или существующих научных теорий, но тем не менее вступает в противоречие с ними самими.

Именно такие парадоксальные следствия учения о бесконечной делимости пространства и обнаружил Зенон. * ...Быстроногий Ахиллес хочет догнать медленно ползущую черепаху. Но пока он пробежит разделяющее их расстояние, черепаха тоже проползет немного вперед. И Ахиллесу придется теперь преодолевать это дополнительное расстояние. Но пока он сделает это, черепаха вновь уйдет вперед — и так до бесконечности. Значит, несмотря на то, что Ахиллес передвигается намного быстрее черепахи, он все равно никогда не может ее догнать. Или, другими словами, будет догонять ее бесконечно длительное время.

Этим парадоксом Зенон показал, что предположение о бесконечной делимости пространства приводит к противоречию с реальным фактом движения.

Вместе с этой апорией Зенон сформулировал и еще одну — под названием «Дихотомия». Если черепаха после сигнала к старту не сдвинется с места, Ахиллес все равно ее не догонит. Ведь прежде чем преодолеть все расстояние, он должен преодолеть его четверть. И так далее... И поскольку процесс деления пополам никогда не может окончиться, Ахиллес вообще не сдвинется с места.

Отсюда следовало, что в природе нет и не может быть никакого движения.

Парадоксы Зенона привели древнегреческих мыслителей в настоящее смятение. Однако все попытки каким-либо способом их опровергнуть заканчивались неудачей.

До нас дошел рассказ о том, как философ Диоген, когда его познакомили с апориями Зенона, ни слова не говоря, поднялся с места и начал рассказывать взад и вперед.

Много веков спустя остроумию Диогена отдал должное Александр Сергеевич Пушкин:

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.

Другой смолчал и стал пред ним ходить...

Казалось бы, апории Зенона тем самым были опровергнуты с помощью самого могущественного аргумента — опыта.

Однако проблема была гораздо сложнее, чем это может показаться на первый взгляд.

Не спасло положения и атомистическое учение Демокрита, не допускающее бесконечного деления. Правда, существование «неделимых» устраняло парадокс Ахиллеса и черепахи. Как только в процессе деления мы дошли бы до «неделимых», все стало бы на свои места — Ахиллес догнал бы черепаху.

Однако в двух других апориях Зенон показал, что и предположение о существовании неделимых элементов пространства и времени также исключает возможность движения. Одна из этих апорий называется «Стрела».

...Стрела выпущена из лука. Если стрела летит — это значит, что она последовательно проходит точку за точкой своего пути. Что значит: проходит через точку? Значит, находится в ней какое-то время, то есть пребывает в состоянии покоя. Следовательно, движение стрелы есть совокупность состояний покоя. Следовательно, движение есть покой.

Таким образом, получалось, что обе противоположные концепции — и бесконечной делимости (то есть непрерывности) пространства и времени и существования неделимых элементов (то есть дискретности пространства и времени) — в равной степени ведут в тупик.

А вскоре обнаружилось к тому же, что метод «неделимых» Демокрита сталкивается и с другими непреодолимыми трудностями. Если атом имеет конечную величину, то разве можно утверждать, что конечная величина, какая бы она ни была, не может быть вновь разделена?

Возник, например, и такой вопрос: как разделить круг пополам? Если существуют «неделимые», то центр круга будет принадлежать только одной половине.

Окончательную катастрофу учение Демокрита потерпело тогда, когда были обнаружены несоизмеримые отрезки. Если есть наименьшие «неделимые», то, очевидно, любой отрезок должен состоять из целого их числа. Но оказалось, что между стороной квадрата и его диагональю нет никакой общей меры. То есть не существует такого отрезка, который укладывался бы на диагонали квадрата и его стороне целое число раз.

Результатом всех этих потрясений было то, что и бесконечность и неделимые оказались изгнанными из математики. К слишком сложным противоречиям, сложным даже для изощренных в логических спорах умов греческих мыслителей, вело применение этих попятий.

Бесконечность стали всячески обходить, прибегая для этого ко всевозможным логическим ухищрениям.

Когда Эвклиду, например, потребовалось сформулировать свою знаменитую теорему о множестве простых чисел, он вышел из затруднения следующим образом: «простых чисел существует больше всякого предложенного количества простых чисел».

И все же математики оказались в затруднительном положении — они тем самым лишились возможности вычислять площади и объемы. Надо было найти новый способ решения этой задачи без помощи бесконечности.

Такой способ — метод чериков — был разработан Евдоксом и Архимедом. Впоследствии, в XVII веке, он получил название метода исчерпывания.

В основе метода чериков лежала аксиома Евдокса — Архимеда: если из какой-либо величины отнять ее половину (или больше), а затем с каждым остатком поступать так же, то через конечное число шагов можно получить величину меньше любой заданной.

Однако и метод чериков, увы, обладал весьма существенным недостатком. Его можно было применять только в тех случаях, когда уже было известно, что именно требуется доказать. А для этого надо было воспользоваться «неделимыми» Демокрита...

Апории Зепона обнаружили и еще одну трудность. В ту пору в древнегреческой математике было распространено представление о том, что конечная величина есть совокупность бесконечного множества непротяженных точек. В частности, такой концепции, видимо, придерживались ранние пифагорейцы. Частями беспретельного для них были не материальные атомы, а геометрические точки.

Но если тело представлено бесконечной совокупностью неделимых точек, не имеющих измерений, то их сумма равна нулю. А это значит, что тело, имеющее измерение, лишено измерения.

Если же неделимые точки имеют измерение, то тело конечной величины оказывается бесконечно большим.

Много столетий спустя известный исследователь истории математики Д. Стройк написал, что парадоксы Зенона вызвали такое волнение, что и сейчас можно наблюдать некоторую рябь.

При этом различные ученые по-разному относились и к самому Зенону, и к его апориям.

Так, известный французский математик Поль Леви писал о парадоксе «Ахиллес»:

«Признаюсь, я никогда не понимал, как люди, в других отношениях вполне разумные, могут оказаться смущенными этим парадоксом, и ответ, который я только что заметил, есть тот самый ответ, который я дал, когда мне было одиннадцать лет, старшему, рассказавшему мне этот парадокс... «Этот грек был идиотом». Я знаю теперь, что нужно выражать свои мысли в более вежливой форме и что, может быть, Зенон излагал свои парадоксы только для того, чтобы проверить разумность своих учеников. Но мое удивление перед умами, смущаемыми понятиями такого рода, осталось тем же».

А вот мнение известного специалиста по теории множеств А. Френкеля:

«Пропасть между дискретным и непрерывным опять является слабым местом, вечной точкой наименьшего сопротивления, в то же время исключительной научной важности в математике, философии и даже физике».

«Внимательный анализ показывает, — пишет автор одного историко-математического исследования, — что на каждом уровне развития знаний Зенона удастся опровергнуть только на 99 процентов. Но один процент всегда остается. И оказывается, что именно в этом одном проценте вся соль — зародыш новых трудностей, новых противоречий и нового знания».

— Возможно, что человечество вообще никогда не сумеет опровергнуть элейского философа на все сто процентов, — заметил в одном из своих докладов академик Г. И. Наан. — Бесконечность неисчерпаема, а Зенон сумел схватить в наивной, но гениальной форме три «вечные» проблемы, тесно связанные друг с другом и с проблемой бесконечности: проблему **н и ч т о**, проблему **н е п р е р ы в н о с т и** и проблему **с у щ е с т в о в а н и я**.

И хотя чисто внешне может показаться, что апории Зенона — всего лишь хитроумные уловки, предназначенные для того, чтобы поставить в тупик противников, — в действительности это был один из первых шагов от формальных логических рассуждений к диалектике. Не случайно Аристотель называл Зенона Элейского «основателем диалектики», а Гегель видел в нем даже родоначальника диалектики в современном смысле слова.

Как отметил В. И. Ленин, философское значение апорий Зенона состояло в том, что они вскрыли действительную противоречивость движения, пространства и времени, конечного и бесконечного.

Когда в процессе изучения природы мы сталкиваемся с какой-либо противоречивой ситуацией, то нередко оказываемся вынужденными выработать для ее разрешения новое понятие. Одним из таких понятий, возникающих из противоречия, и является понятие движения. Именно так определял движение и Ф. Энгельс.

«...Тело, — писал он, — в один и тот же момент времени находится в данном месте и одновременно — в другом... оно находится в одном и том же месте и не находится в нем»¹.

Таким образом, совершенно очевидно, что Зенон вовсе не ставил своей целью отрицать реальность движения. Он гениально предугадал невозможность удовлетворительно объяснить движение ни с позиций бесконечной делимости длины и длительности, ни с позиций признания неделимых элементов, если они обладают, в свою очередь, длиной и длительностью.

«Мы не можем представить, выразить, смерить, изобразить движения, не прервав непрерывного, не упростив, не углубив, не разделив, не омертвив живого, — писал в «Философских тетрадах» В. И. Ленин. — Изображение движения мыслью есть всегда огрубление, омертвление, — и не только мыслью, но и ощущением, и не только движения, но и всякого понятия.

И в этом *суть* диалектики. *Э т у - т о с у т ь* и выражает формула: единство, тождество противоположностей»².

Фактически Зенон обсуждал вопрос о границах применимости представления о протяженности. По существу,

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 123.

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 233.

его рассуждения подвели к выводу о необходимости вообще выйти за рамки протяжения.

Натурфилософские изыскания древних греков представляют большой интерес не только с точки зрения истории науки. Между ними и современным естествознанием существует явная преемственность.

— Едва ли можно разрабатывать атомную физику, — сказал выдающийся физик современности В. Гейзенберг, — не зная греческой натурфилософии. Современное естествознание во многих отношениях примыкает к древнегреческой натурфилософии, возвращаясь к тем проблемам, которые пыталась разрешить эта философия в своих первых попытках понять окружающий мир.

Так, идеи Зенона относительно протяженности перекликаются с некоторыми современными физическими идеями. Например, с идеей о так называемом регенерационном движении элементарных частиц. Другими словами, движение совершается так: частица исчезает в одной пространственной ячейке и возрождается в другой. Это происходит в результате взаимодействия с вакуумом.

Показательно и то, что одной из гипотез, с помощью которой некоторые современные физики надеются преодолеть трудности, возникающие в теории микропроцессов, является предположение о наличии элементарной длины и элементарного интервала времени.

Но те же апории Зенона наводят на мысль о том, что для объяснения сущности движения и покоя скорее всего необходимо отталкиваться от чего-то лишнего протяженности и длительности. Быть может, это поле или вакуум, которые тоже являются формами существования материи. Не исключена возможность, что кванты длины и длительности лишены геометрической природы.

Таков тот клубок проблем и идей, которые так или иначе берут свое начало от парадоксов Зенона.

После Зенона уже нельзя было обращаться с бесконечностью с прежней небрежностью.

Аристотель против атомистов

Найти выход из критической ситуации, сложившейся в вопросе о бесконечности после апорий Зенона, попытался Аристотель (384 г.—322 г. до н. э.).

Сын македонского лейб-медика Никомаха Аристотель в молодости персехал в Афины, где обучался в школе Платона. Отец Аристотеля был высокообразованным человеком и автором ряда естественнонаучных сочинений. Согласно традиции он с ранних лет обучал Аристотеля своему врачебному искусству. Из родительского дома Аристотель вынес интерес к эмпирическому естествознанию и понимание индуктивного метода исследования. И когда в Академии Платона при его преемниках стали преобладать мистические спекуляции, Аристотель порвал с нею. Его учение о мире было первой хорошо разработанной всеобъемлющей философской системой, господствовавшей полторы тысячи лет.

Аристотель основал собственную школу — Ликей (отсюда пошло наше слово «лицей»). Ежедневно были две «прогулки», то есть две лекции. Утренняя лекция, называемая ахроматической, предназначалась для подготовленных учеников и посвящалась абстрактным частям науки. Вечерняя — читалась для всех слушателей и требовала минимума предварительных знаний. После ахроматической лекции слушатели горячо спорили, прохаживаясь по прохладным тепистым платановым аллеям рощи Аполлона Ликейского.

Аристотель отличался поразительной книжной ученостью и собрал обширную библиотеку. Он побуждал своих учеников в Ликее изучать и систематизировать более раннюю литературу и сам обычно предпосылал новым исследованиям обзоры того, что по этому вопросу уже было написано.

Лекции в Ликее помогали Аристотелю связать воедино проблемы, над которыми он до этого долго размышлял. Идеи и доводы укладывались в стройную систему, на ходу рождались новые недостающие аргументы.

Аристотель понимал, что наука о природе не может отказаться от понятия бесконечного, и не раз повторял своим ученикам: «Исследуя природу, надо исследовать вопрос о бесконечности».

— Рассмотрение бесконечного, — говорил Аристотель, — имеет свои трудности, так как много невозможного следует и за отрицанием его существования, и за признанием.

И еще:

— Неразумно приписывать материальным элементам отсутствие частей. Учение о неделимых телах неизменно впадают в конфликт с математическими науками.

— Но что же такое бесконечность? — спрашивал кто-нибудь из учеников.

— Бескопечность не следует понимать как определенный предмет, — пояснял Аристотель, — как человека или дома, а в том смысле, как, скажем, день или состязание, которые все время находятся в возникновении и уничтожении. — И чтобы сделать свою мысль более ясной для окружающих, добавлял: — Бесконечность — то, что не может быть пройдено. И это не простое повторение одного и того же, а процесс, который все время приводит к новому и новому.

— Значит, пространство и время делимы бесконечно?

— Если пространство и время прерывны, — вслух рассуждал Аристотель, — то движение должно происходить скачками. Но между двумя атомами пространства нет пространства, а между двумя атомами времени нет времени. У отрезка или интервала времени не может быть пробелов. А непрерывное есть то, что всегда делимо на всегда делимые части.

— Значит ли это, — снова следовал вопрос, — что и любое тело можно делить без конца?

— В отношении величины наименьшего числа нет, так как всякая линия делима. Конечное же тело не делимо до бесконечности.

— Надо ли в таком случае понимать, что бесконечность на самом деле не существует? — не упимался вопрошающий.

— В самой природе нет бесконечного, — убежденно отмечал Аристотель. — Бесконечность — абстракция, которую математик применяет, познавая действительность. Но в то же время математические принципы — выше нашего опыта, и опыт не может вносить в них какие бы то ни было изменения.

Аристотель рассматривал бесконечность как процесс, состоящий из последовательных шагов, где за каждым очередным шагом имеется следующий и нет последнего. Например: бесконечная последовательность натуральных чисел, которую можно получить путем последовательного прибавления единицы. Подобную бесконечность Аристотель называл потенциальной, которую он понимал, следо-

вательно, как осуществимость сколь угодно большого, по конечного числа объектов.

Актуальная же бесконечность предполагает возможность завершения бесконечного процесса. Другими словами, актуально бесконечное множество является завершенным объектом — «ставшим».

Аристотель утверждал, что математики вполне могут обойтись потенциальной бесконечностью. Актуальную бесконечность следует отбросить как ненужную.

Будучи одним из величайших мыслителей Древней Греции, достигшим высот теоретической мысли, Аристотель в то же время проводил непреходимую грань между прикладными задачами и научной теорией. В частности, он утверждал, что математика должна заниматься только чисто теоретическими операциями, а реальные вещи ее совершенно не должны интересовать.

Впрочем, такую же позицию занимали и другие древнегреческие мыслители. Например, в знаменитых «Началах» Эвклида, которые и по сей день считаются фундаментом геометрии, мы не найдем ни одного примера вычисления площади какой-либо реальной поверхности.

Архимед был первым среди древнегреческих ученых, кто применил теоретические знания, в частности понятие бесконечности для решения практических задач. Он первым вычислил площадь круга как предел площади, вписанного в окружность правильного многоугольника, когда число его сторон неограниченно возрастает, то есть стремится к бесконечности.

В дальнейшем Архимед усовершенствовал свой метод, используя его не только для вычислений, но и для исследования свойств различных фигур и тел. Он разлагал любое тело (например, шар или конус) на чрезвычайно тонкие кружки, доказывал то или иное утверждение для одного из этих кружков и отсюда делал вывод, что подобным же свойством обладает и все тело.

Архимед был одним из последних представителей эпохи великих мыслителей и математиков Древней Греции.





ОТ НЬЮТОНА ДО НАНТОРА

Лейбниц против Ньютона

Новый этап в развитии представлений о бесконечности связан с созданием так называемого математического анализа — изобретением дифференциального и интегрального исчисления, которое справедливо считается одним из величайших достижений науки XVII века.

Важнейшим событием того времени и бесспорно одним из крупнейших в истории естествознания и человеческой мысли вообще было появление ньютоновского труда «Математические начала натуральной философии».

Эта книга как бы подвела итоги всему тому, что было сделано за предшествующие тысячелетия в изучении простейших форм движения материи.

По словам академика С. И. Вавилова, сложные перипетии развития механики, физики и астрономии, выраженные в именах Аристотеля, Птолемея, Коперника, Гали-

лея, Кеплера, Декарта, поглощались и заменялись гениальной ясностью и стройностью «Начал».

По образу и подобию «Начал» возникла «классическая физика», применявшая ньютоновское учение о пространстве, времени, массах и силах к решению самых разнообразных задач механики, физики и астрономии.

Математические дарования, писал академик С. И. Вавилов, подобно музыкальным нередко врожденны, проявляются рано и органически определяют склад ума данного человека.

Исаак Ньютон (1643—1727) как раз и был именно таким врожденным математиком.

«Для того, чтобы научиться математике,— говорил Фонтенель в «Похвальном слове памяти Ньютона» в 1727 году,— Ньютон не изучал Эвклида, который казался ему слишком ясным, слишком простым, не стоящим затраты времени; он знал его в некотором смысле раньше, чем его прочитал; один взгляд на текст теорем мгновенно создавал и доказательство... По отношению к Ньютону можно было бы применить то, что Лукиан сказал о Ниле, истоки которого были неизвестны древним: «Человеку не позволено видеть Нил слабым и рождающимся».

Вероятно, эта пышная фраза, которые так любило XVIII столетие, не совсем точно отражает существо дела, ибо известно, что Ньютон как раз мыслил геометрически, классический геометрический метод древних был основным орудием его математических изысканий.

Что же касается Эвклида, то он вряд ли обошел и его своим вниманием: не так давно был найден принадлежавший Ньютону экземпляр геометрии Эвклида, на полях которого великий физик оставил множество собственных замечок и чертежей.

Но как бы там ни было, Ньютон и в самом деле открыл своими исследованиями новую эпоху в развитии математики. Хотя, судя по всему, он смотрел на математику лишь как на вспомогательное орудие, необходимое для физических исследований. Его интересы были целиком сосредоточены на физике, а астрономия давала ему необходимые материалы. Именно физические задачи и привели Ньютона к великим математическим открытиям. Так, разрешение задач новой механики, разработкой которой занимался Ньютон, послужило толчком к открытию исчисления бесконечно малых.

Исаак Ньютон прожил долгую, восьмидесятилетнюю жизнь. Он был свидетелем множества разнообразных исторических событий: казни Карла I, правления Кромвеля, реставрации Стюартов, революции 1688 года. Он был современником Петра I и Людовика XIV.

Тем не менее жизнь Ньютона, отличавшегося редким здоровьем, протекала исключительно спокойно, мирно и однообразно, он даже не был женат и почти не имел друзей. Мимо него проходили и все политические потрясения.

Ньютон был гением. Но успехам его работы во многом способствовали мирное однообразие жизни и сосредоточенность мысли и работы. Научная деятельность, особенно в первой половине жизни, поглощала его целиком.

Можно сказать, что Ньютону повезло — с детства его окружали образованные люди. С ранних лет он проявлял интерес к математике и наблюдениям природы. И характерно, что уже в эти юные годы ум его искал оригинальных решений. Однажды, например, он решил определить скорость ветра во время грозы. И так как, естественно, в его распоряжении не было никаких приборов, он придумал остроумный способ. Выбрал ровную площадку и, разбежавшись, стал прыгать по ветру и против ветра, каждый раз отмечая дальность своего прыжка. Сравнив результаты, он и достиг поставленной цели.

Любопытно, что молодого Ньютона привлекали также всякого рода фокусы, в особенности химические. Но ведь любой фокус — это своего рода парадокс, когда результат, казалось бы, противоречит и научным представлениям и здравому смыслу. А когда узнаешь секрет, начинаешь глубже и лучше понимать подлинную связь явлений.

В то же время, по воспоминаниям современников, Ньютон был здравомыслящим юнцом, молчаливым и задумчивым, в играх он принимал участие неохотно, предпочитая оставаться дома.

Существенную роль в развитии способностей молодого Ньютона, несомненно, сыграло и то обстоятельство, что в знаменитом кембриджском Тринити-Колледже, где он обучался начиная с 1661 года, студентам предоставлялась широкая инициатива и свобода. И здесь Ньютон быстро сформировался как ученый.

Как это ни парадоксально прозвучит, но определенную роль в развитии ньютоновских исследований сыграла... страшная эпидемия чумы, разразившаяся в 1664 го-

ду и свирепствовавшая в течение почти четырех лет. Вынужденный бежать от смертельной угрозы в деревню, Ньютон в сельской тишине получил возможность сосредоточиться и глубоко продумать идеи, возникшие у него в колледже. Здесь в течение всего двух лет он и создал свой метод флюксий, положивший начало дифференциальному исчислению.

Однако возвратившись в колледж, Ньютон никому не рассказал о своих открытиях и стал известен как создатель анализа бесконечно малых лишь спустя 30 лет, а трактат «Метод флюксий и бесконечные ряды», написанный Ньютоном в 1672 году, был издан лишь в 1736 году, уже после смерти ученого.

Между прочим, Ньютон не торопился обнародовать и другие свои работы. Об открытии всемирного тяготения мир узнал спустя 20 лет, а результаты оптических исследований были опубликованы спустя 5 — 6 лет после их получения. Дело в том, что великий физик весьма требовательно относился к точности и безошибочности своих выводов и утверждений.

Может быть, столь удивительная медлительность в публикации трудов в какой-то мере объясняется соображениями, которые Ньютон изложил в качестве совета одному из своих знакомых, собиравшемуся в дальнейшее путешествие: «Вы мало или ничего не выиграете, если будете казаться умнее или менее невежественным, чем общество, в котором вы находитесь».

Вскоре после возвращения из деревни, в 1669 году, Ньютон передал своему учителю Барроу на просмотр сочинение об анализе бесконечных рядов. В то время Ньютон был еще молодым магистром. По рекомендации Барроу, который охарактеризовал Ньютона как человека с необычайными способностями, с рукописью ознакомился один из крупных математиков того времени Коллинз.

Однако эта работа увидела свет только в 1711 году в связи с полемикой, возникшей между Ньютоном и другим выдающимся ученым того времени Лейбницем (1646 — 1716).

Отец Лейбница был довольно известным юристом, в течение 12 лет преподававшим философию в Лейпцигском университете; мать — дочерью известного профессора, также преподававшего юридические науки. Отец оказал на маленького Лейбница благотворное влияние. Он

старался развить в ребенке любознательность и часто рассказывал ему небольшие эпизоды из истории.

Подобно Ньютону, уже в школьные годы Лейбниц проявлял самостоятельность и оригинальность мышления. Например, в 12 лет он изобрел способ изучать римских авторов без помощи словаря и без содействия учителя. Случайно натолкнувшись на две книги, одна из которых была сочинения Ливия, он самостоятельно прочитал их.

При чтении Ливия он постоянно становился в тупик. Не имея понятия ни о жизни древних, ни об их манере писания, не привыкнув к возвышенной риторике историографов, стоящей выше обыденного разума, он, по собственному признанию, не понимал ни строчки. Но это издание было старинное, с гравюрами. Поэтому он внимательно рассматривал гравюры, читал подписи и, мало заботясь о темных для него местах, попросту пропускал все то, чего не мог понять. Так он несколько раз перелистывал всю книгу. Постепенно стало проясняться то, что было непонятным. Наконец, наступило время, когда ему стала вполне ясной большая часть прочитанного.

Один из учителей, узнав об этих занятиях Лейбница, явился к его воспитателям и потребовал, чтобы у него отобрали книги, годные лишь для более старшего возраста. К счастью, свидетелем этого разговора случайно оказался один ученый, живший по соседству, друг хозяина дома. Он стал доказывать, что было бы нелепо подавить суровостью и грубостью первые проблески развивающегося таланта. И уговорил родственников Лейбница допустить его в библиотеку отца.

— Я торжествовал, — рассказывал впоследствии сам Лейбниц, — как если бы нашел клад, потому что стирал нетерпением увидеть древних, которых знал только по имени — Цицерона и Квинтилиана, Сенеку и Плиния, Геродота, Ксенофонта и Платона... Все это я стал читать, смотря по влечению, и наслаждался необычайным разнообразием предмета.

Впоследствии Лейбниц отмечал, что сама судьба назначила ему остаться без посторонней помощи, без совета и уже в юном возрасте руководствоваться собственной смелостью. Читая древних авторов, он приобрел известного рода окраску не только в выражениях, но и в образе мыслей. С той поры, по словам Лейбница, он составил себе два основных правила: искать в словах и выраже-

ниях ясности, в вещах — пользы. Позднее он узнал, что ясность есть основа всякого суждения, а польза — основа всякого открытия и что большинство людей заблуждается именно потому, что слова их неясны, а опыты бесцельны.

«Я не только умел с необычайной легкостью применять правила к примерам, чем чрезвычайно изумлял учителей, так как никто из моих сверстников не мог сделать того же, но я еще тогда во многом усомнился и тогда еще носился с новыми мыслями».

Еще в ранней молодости Лейбниц пытался создать азбуку мыслей, то есть записывать с помощью знаков простейшие общие понятия, а из комбинации этих знаков должны были получаться суждения и умозаключения.

«Две вещи,— пишет Лейбниц,— принесли мне огромную пользу, хотя обыкновенно они приносят вред. Во-первых, я был, собственно говоря, самоучкой, во-вторых, во всякой науке, как только я приобретал о ней первые понятия, я всегда искал нового, часто просто потому, что не успевал достаточно усвоить обыкновенное...»

Пятнадцати лет Лейбниц поступил в Лейпцигский университет. Характер его занятий по-прежнему оставался крайне разносторонним, он читал все без разбора. И хотя учился на юридическом факультете, посещал и многие другие лекции, в особенности по философии и математике.

Одним из его учителей оказался Яков Томазий, поклонник Аристотеля, человек с колоссальной эрудицией и выдающимся преподавательским талантом. Томазий много способствовал систематизации разнородных и разрозненных знаний Лейбница. Его лекции познакомили Лейбница с великими идеями конца XVI и начала XVII столетий. В то время завоевали всеобщее признание труды Коперника и Галилея, а философия Декарта вытеснила даже авторитет Аристотеля. Огромное впечатление на Лейбница произвели также труды Франциска Бекона, Кампанеллы и Кеплера.

Лейбниц был среднего роста, худощав и бледнолиц. Он носил черный как смоль парик и на первый взгляд производил впечатление довольно невзрачного человека, но отличался широтой натуры, а порой даже безалаберностью. Он любил душевное возбуждение и был энергичен, по его собственным словам, имел живые желанья. В его натуре было много противоречивого: он был вспыль-

чив, но гнев его легко прекращался, охотно путешествовал, но избегал упражнений, требующих сильного движения.

Лейбниц ценил веселую беседу и умел говорить с людьми всех званий и профессий, очень хорошо относился к детям. И чрезвычайно любил рассказывать анекдоты из своего детства, желая доказать, что еще ребенком он был существом необыкновенным.

Душевное настроение Лейбница вполне гармонизировало с его философским оптимизмом. Лейбниц был почти всегда весел и оживлен, и обо всех всегда отзывался хорошо. И никогда не относился свысока ни к какому учению.

Таким образом, в натуре и характере Ньютона и Лейбница можно найти много общего. Оба с детства проявляли стремление оригинально мыслить, с уважением относились ко всему, что было до них достигнуто в науке, оба отличались завидным душевным здоровьем и больше всего ценили в занятиях наукой возможность произнести свое слово. Наконец, оба обладали богатым воображением и фантазией.

Напрасно думают, писал В. И. Ленин, что фантазия нужна только поэту. «Это глупый предрассудок! Даже в математике она нужна, даже открытие дифференциального и интегрального исчисления невозможно было бы без фантазии»¹.

Исторические по своему значению математические исследования Ньютона и Лейбница развивались не совсем на пустом месте. В начале XVII столетия трудами Кеплера и Кавальери были заложены основы совершенно новой отрасли математики.

Иоганн Кеплер, который вошел в историю науки открытием законов движения планет, разработал метод операций с бесконечно малыми величинами, получивший название «интеграционного». Любую фигуру или тело он представлял в виде суммы бесконечного множества бесконечно малых частей. Например, круг, считал он, состоит из бесконечно большого числа бесконечно узких секторов. И хотя природа бесконечно малых у Кеплера оставалась невыясненной, этот метод имел большое значение для развития математики.

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 45, стр. 125.

Как мы уже отмечали, похожий метод применял и Архимед. Однако письмо Архимеда к Эратосфену, в котором он излагал его сущность, было обнаружено лишь в начале XX столетия.

Аналогичный метод разрабатывал и Кавальери. Однако все это были только первые робкие шаги. Настоящее развитие операции с бесконечно малыми получили в трудах Ньютона.

Ньютоном переменные величины называл флюентами. А отношение бесконечно малого прироста одной флюенты к соответствующему бесконечно малому приросту другой — флюксиями. В современной терминологии принято обозначение, введенное впоследствии Лейбницем, — дифференциал.

Ньютон прекрасно сознавал значение своего открытия и отчасти закрепил свой приоритет в этой области письмом к Коллинзу в декабре 1672 года. Коллинз был своеобразным центром научной переписки английских математиков с иностранными учеными.

В письме Ньютон сообщал о своем открытии, но лишь в самой общей форме — самого метода он не указывал и не объяснял, а только пояснял его несколькими примерами.

В октябре 1676 года Ньютон в письме к секретарю Королевского общества Ольденбургу вновь сообщил о своем новом методе и изложил его сущность в соответствии с научными обычаями того времени в зашифрованной особым образом строке. Шифр был не слишком сложен: числа, стоящие перед буквами, указывали, сколько раз эти буквы повторяются в тексте. При хорошем знакомстве с латинским языком расшифровать фразу было не так уж сложно: «Дано уравнение, заключающее в себе текущее количество (флюенты), найти течения (флюксии) и наоборот».

Более детальное изложение метода было зашифровано Ньютоном сложнее.

Впоследствии, когда свои работы по исчислению бесконечно малых опубликовал Лейбниц, между ним и Ньютоном вспыхнул спор о приоритете. Он длился на протяжении многих лет, но так, по существу, и не привел к каким-либо результатам. Историки до сих пор обсуждают этот вопрос, пытаясь выяснить, заимствовал ли Лейбниц свои идеи у Ньютона или разработал их самостоятельно.

В начале 1673 года Лейбниц в течение нескольких месяцев находился в Лондоне и часто посещал Ольденбурга, который был в курсе математических работ Ньютона.

И только после посещения Лондона Лейбниц всерьез заинтересовался математикой. Вернувшись в Париж, он разделил свое время между философскими и математическими упражнениями, которыми занимался совместно с известным физиком Гюйгенсом.

В 1676 году Лейбниц снова проездом побывал в Англии и в это время лично познакомился с Коллинзом, у которого хранились рукописи Ньютона.

Вскоре после этого он как раз и выработал основания своего метода — дифференциального исчисления.

Не говорят ли все эти факты о том, что Лейбниц мог узнать содержание работ Ньютона?

Примерно в то же время между Ньютоном и Лейбницем завязалась переписка. И уже в июне 1677 года Лейбниц ответил на письма Ньютона изложением основ своего дифференциального исчисления, которое, по существу, отличалось от метода Ньютона только обозначениями.

В 1684 году в лейпцигском журнале «Деяния ученых» появилась статья Лейбница о дифференциальном исчислении, в котором он ни разу не упомянул имени Ньютона. Он сделал это лишь в следующей статье об интегральном исчислении. Однако и на этот раз лишь в довольно неопределенных выражениях.

Паоборот, Ньютон во второй книге «Начал» объективно отзывался о достижениях Лейбница:

«В письмах, которыми около 10 лет тому назад я обменивался с весьма искусным математиком Лейбницем, я ему сообщал, что обладаю методом для определения максимума и минимума, проведения касательных и решения тому подобных вопросов... Знаменитейший муж отвечал мне, что он также напал на такой метод, и сообщил мне свой метод, который оказался едва отличающимся от моего и то только терминами и начертаниями формул».

В 1693 году Лейбниц обратился к Ньютону с предложением возобновить переписку. Ньютон ответил в дружественном тоне:

«Наш Уоллис присоединил к своей «Алгебре» только что появившиеся некоторые из писем, которые я писал

к тебе в свое время. При этом он потребовал от меня, чтобы я изложил открыто тот метод, который я в то время скрыл от тебя переставлением букв; я сделал это коротко, насколько мог. Надеюсь, что я при этом не написал ничего, что было бы тебе неприятно, если же это случилось, то прошу сообщить, потому что друзья мне дороже математических открытий».

Однако переписка на этом прервалась и больше уже не возобновлялась.

Скорее всего Лейбниц не знал о ньютоновском методе флюксий, хотя письма Ньютона и могли натолкнуть его на определенные идеи.

Да в конце концов и не в том дело, кто именно из двух великих ученых внес в разработку основ математического анализа наибольший вклад. Гораздо важнее, что эти основы были заложены их выдающимися исследованиями.

Уже с 90-х годов XVII столетия математический анализ стал быстро распространяться и прививаться в форме, предложенной Лейбницем, которая была предпочтительнее, благодаря общности, удобству обозначений и подробной разработке различных приемов.

Новый метод оказался необыкновенно плодотворным, к тому же он открыл возможность разнообразных научных и практических приложений. Эти обстоятельства не могли не привлечь внимания многочисленных исследователей. И потому в следующем столетии математика развивалась исключительно бурно, отличаясь изобилием открытий и множеством оригинальных идей.

Слова кризис!..

Дифференциальное и интегральное исчисления — исчисления бесконечно малых — явились не только крупным достижением математики, но и важнейшим этапом в развитии всего естествознания и человеческой мысли вообще.

От абстрактных рассуждений о бесконечном древнегреческих философов человек перешел к практическим операциям с бесконечностями.

При этом характерно, что разработка нового математи-

ческого метода была вызвана к жизни потребностями развивающихся физических наук, в первую очередь механики. Другими словами, этот скачок был обусловлен не только внутренней логикой развития самой математической науки, но прежде всего общим уровнем развития естествознания.

Если раньше решение тех или иных научных задач носило вполне очевидный, наглядный характер, то теперь впервые для этой цели стали использоваться величины, которые не только нельзя было представить себе непосредственно, но и природа которых отличалась явной неопределенностью и даже противоречивостью.

Дело в том, что теоретические основания исчисления бесконечно малых и Ньютоном и школой Лейбница были разработаны недостаточно четко. Далеко не безупречными были и руководящие идеи.

В частности, и у Ньютона и у Лейбница в одних и тех же вычислениях бесконечно малые принимались то за действительные величины, то за величины, равные нулю, которые затем просто-напросто отбрасывались. Считалось также, что прибавление бесконечно малого не изменяет конечного слагаемого.

Однако в то же время большинство математиков рассматривало бесконечно малое как наименьшее значение убывающей величины (то есть как актуально бесконечно малое). Но такое наименьшее значение должно быть заведомо больше нуля, следовательно, его отбрасывание — операция явно незаконная.

Создалась довольно странная ситуация: применение неясных по природе и внутренне противоречивых бесконечно малых величин каким-то образом приводило к правильным результатам. Такое положение вещей производило впечатление чего-то загадочного, таинственного, граничило с мистикой.

Математики того времени, писал Карл Маркс, «...сами верили в таинственный характер повооткрытого исчисления, которое давало правильные (и притом в геометрическом применении прямо поразительные) результаты математически положительно неправильным путем. Таким образом, сами себя мистифицировали и тем более ценили новое открытие, тем более бесили толпу старых ортодоксальных математиков и вызывали с их стороны враждеб-

пые вопли, будившие отклик даже в мире неспециалистов и необходимые для прокладывания пути новому»¹.

Новольно напрашивается вопрос: что же такое анализ бесконечно малых — точная наука или приближенный метод?

Сам Лейбниц считал, что его метод дает точные результаты, обосновывая это следующим образом: то, что несравненно меньше, бесполезно принимать в расчет по сравнению с тем, что несравненно больше него; так, частица магнитной жидкости, проходящая через стекло, не сравнима с песчинкой, песчинка с земным шаром, а этот последний с небесной твердью...

Подобные аргументы, основанные на аналогиях, не слишком убедительны.

В 1734 году появился ядовитейший трактат Дж. Беркли под необычно длинным и претенциозным названием «Аналист, или Рассуждение, обращенное к неверующему математику, в котором рассматривается, более ли ясно или более очевидно выводятся предмет, принципы и умозаключения современного анализа, чем религиозные таинства и догматы веры».

Беркли, исходя из своего принципа «существовать — значит быть воспринимаемым», беззастенчиво потешался над бесконечно малыми, называя их «тепями усопших величин».

Такой вещи, как тысячная часть дюйма, существовать не может, утверждал Беркли, тем более не могут существовать бесконечно малые величины. Ведь ни то, ни другое мы не можем воспринять. А потому, как бы ни был полезен ньютоновский метод математического анализа, заключал Беркли, это всего лишь ловкая споровка, искусство или, скорее, ухищрение.

Любопытно, что с аналогичной ситуацией столкнулась и современная теоретическая физика. Ей приходится иметь дело с бесконечностями, которые, казалось бы, не имеют реального физического смысла. Однако операции с этими величинами приводят к результатам, которые прекрасно подтверждаются на опыте.

В наше время, после великой революции в физике на рубеже XIX и XX столетий, когда квантовая механика

¹ К. Маркс. Математические рукописи. М., «Наука», 1968, стр. 169.

принесла с собой вероятностное понимание окружающей действительности и ученые перестали требовать от научных теорий окончательных и однозначных ответов на любые вопросы, такое положение дел представляется довольно естественным и не очень-то смущает. Хотя, разумеется, и современные физики не оставляют настойчивых попыток выяснить природу загадочных бесконечностей.

Но в те времена, когда набирала силу и утверждалась ньютоновская классическая физика с ее чисто механистическими представлениями о природе всех мировых процессов и непоколебимой уверенностью в абсолютной предопределенности всех без исключения явлений, противоречивый характер бесконечно малых величин привел к очередному кризису основ математики, сравнимому с тем, который возник в древности в связи с апориями Зенона.

Преодолеть этот кризис долгое время не удавалось.

В 1784 году Берлинская академия наук, президентом которой был знаменитый математик Лагранж, даже объявила конкурс на тему «о строгой и ясной теории того, что в математике называют бесконечным».

Предлагалось показать, «каким образом из противоречивых посылок получают столь многочисленные истинные положения, и предложить вместо понятия бесконечности другое, отчетливое и достоверное понятие, однако чтобы вычисления не стали затруднительными или долгими».

Однако и эта попытка не принесла особого успеха.

Выход из второго кризиса оснований математики был найден в теории пределов. С точки зрения этой теории, бесконечно малая — это переменная величина, предел которой равен нулю.

А если говорить строго, величина называется бесконечно малой, если, начиная с какого-то момента, ее численные значения сделаются и будут оставаться меньше наперед заданного сколь угодно малого положительного числа.

Таким образом, бесконечно малые стали рассматриваться как процесс, то есть не как актуальная, а как потенциальная бесконечность.

С появлением математического анализа идея бесконечности начинает играть все большую и большую роль, постепенно выдвигаясь на самый передний план. Не случайно выдающийся немецкий математик XIX столетия

Д. Гильберт называл математический анализ «единой симфонией бесконечного».

С тех пор вся математика оказалась настолько тесно связанной с понятием бесконечности, что многие исследователи даже определяют ее как «науку о бесконечном».

Оценивая роль бесконечности в математике с позиций науки второй половины текущего столетия, известные ученые А. Френкель и И. Бар-Хиллел, например, пишут, что «для математики — в отличие почти от всех других наук — это понятие является настолько жизненно необходимым, что огромное большинство математических фактов, не имеющих отношения к бесконечности, едва ли тривиально».

Немного философии

По выражению академика Наана, кризисы в науке свидетельствуют о достаточно высоком уровне ее развития.

В самом деле, для того чтобы сложились неразрешимые противоречия принципиального характера, наука должна накопить достаточно большой материал: факты и теории, построенные для их объяснения.

Кризис в науке обычно возникает либо тогда, когда появляются новые факты, которые не укладываются в рамки существующей теории, либо развитие этой теории вскрывает присущие ей глубокие внутренние противоречия.

Кризис в математике XVII столетия был несколько иного рода, он возник в связи с тем, что вдруг оказались неясными и даже сомнительными самые основы этой науки.

Но по какой бы причине ни возникал кризис — он требует глубокого философского осмысления. Ведь кризис — это не просто тупик, глухая стена, конец пути. Как правило, это предвестник скачка, рождения оригинальных идей, появления принципиально новых путей, предвестник быстрого прогресса.

В такие периоды, как подчеркивал В. И. Ленин в эпоху кризиса физики на рубеже XIX и XX столетий, естественно при в коем случае не обойтись без философии.

Поэтому не удивительно, что начиная с XVII столетия проблема бесконечности вновь, как и в Древней Гре-

ции, оказывается в поле зрения не только математиков, но и философов.

И прежде всего вопрос стоял так: присуща ли бесконечность, в той или иной форме, самой природе или она привносится в нее человеком?

Такой крупнейший французский философ, как Рене Декарт (1596 — 1650), утверждал, что представление о бесконечности каких-либо объектов материального мира «проистекает из недостаточности нашего разума, а не из природы». Тем самым Декарт хотел сказать, что никакой реальной бесконечности в мире не существует, она — продукт несовершенства человеческого мышления. При этом вовсе не случайно Декарт называет бесконечность мира неопределенностью, превращая ее в своеобразный символ неспособности человека охватить своим разумом окружающий мир, представить себе его границы.

Над проблемой бесконечности задумывался и такой выдающийся немецкий философ, как Иммануил Кант (1724 — 1804). Но хотя Кант, по существу, интересовался вполне определенным типом бесконечности, а именно — бесконечностью мира в пространстве и во времени, а саму бесконечность понимал как бесконечную протяженность, он тем не менее во многом разделял точку зрения Декарта.

— Бесконечность — плод человеческого ума, — утверждал и Кант. — Это понятие совершенно неприменимо к реальному миру. Мир сам по себе ни конечен, ни бесконечен, ибо о «мире как таковом» вообще ничего нельзя сказать.

Кант видел противоречивость бесконечности. Но, будучи метафизиком, он был убежден в том, что любые противоречия присущи только человеку, человеческому сознанию, а в природе их нет. Поэтому противоречивость бесконечности служила для него доказательством ее субъективного характера.

В подтверждение своей точки зрения Кант приводил «антиномии», весьма похожие на апории Зенона.

Он пытался доказать, что применение наших представлений о бесконечности к окружающей природе неизбежно приводит к неразрешимым противоречиям.

— Предположим, — говорил, например, Кант, — что у мира не было начала во времени. Но если так, то до любого, в том числе и до настоящего момента, протекла

вечность. Однако бесконечность неисчерпаема и бесконечный ряд не может быть завершен. А следовательно, настоящий момент никогда не мог бы наступить. Но так как он все же наступил, следовательно, мир конечен во времени.

Однако это были чисто абстрактные логические рассуждения, основанные на ньютоновском представлении об абсолютном пространстве и абсолютном времени.

Гораздо более глубокие мысли о пространстве и времени высказывал впоследствии Гегель (1770 — 1831).

Он, в какой-то мере предвосхищая будущую физику, критиковал Ньютона, считавшего пространство пустымместилищем небесных тел, а время некоей абсолютной, зависящей только от самого себя длительностью, и отрывавшего, таким образом, пространство и время от материи.

Не принимал Гегель и точку зрения Канта.

«Это уже слишком большая нежность по отношению к миру,— писал он,— удалить из него противоречие, перенести, напротив, это противоречие в дух, в разум и оставить его там неразрешенным».

Однако и сам Гегель выводил бесконечность мира из бесконечности мирового духовного процесса,— ведь мир для Гегеля представлялся инобытием идеи.

В то же время любопытно отметить, что эту бесконечность Гегель понимал не просто как бесконечное повторение одного и того же. Он считал, что с изменением масштабов неизбежно должны возникать и новые качества.

И Гегель, и Кант, и Декарт понимали бесконечность как отсутствие границ. И главная проблема, которая их занимала, состояла в том, как оправдать использование идеи бесконечности, если на практике мы всегда имеем дело с конечными величинами.

Проблема бесконечного издавна привлекала внимание не только философов и математиков, но также богословов и теологов, утверждавших, что высшая истинная бесконечность — это бесконечность бога.

— Именно в бесконечности — высшее совершенство и высшее благо,— утверждали они.— Конечность говорит о несовершенстве и потому относится к материальному миру.

Весна 1960 года. Маленький французский городок Ройямон, недалеко от Парижа. Здесь в тихом и цветущем

местечке, словно самой природой предназначенном для отвлеченных размышлений, проходила международная конференция философов. На нее съехались представители самых различных школ и направлений — материалисты, идеалисты, идеологи религии.

Как-то в перерыве между заседаниями один из советских философов разговорился с богословом-доминиканцем, одним из теоретиков современного католицизма.

— Как вы, теологи, решаете в настоящее время вопрос о конечности или бесконечности мира? Ведь, если не ошибаюсь, в свое время религия категорически отводила бесконечность исключительно для бога?

— Да, таковы были взгляды святого Августина, — подтвердил доминиканец. — Но Фома Аквинский, чье учение признано теперь единственной истинной философией католической церкви, исходя из Аристотеля, учил, что материя также бесконечна, но только в ином смысле, а именно в смысле формы, а не бытия, которое эту форму определяет и является богом.

— Не значит ли это, — спросил философ, — что вы оставляете себе возможность, судя по обстоятельствам, пользоваться то одной, то другой стороной этого учения?

Вопрос был достаточно прямой, и доминиканец ухмыльнулся:

— Понимаю... Вас интересует, как мы относимся к гипотезам науки?.. Мы признаем право науки исследовать материальный мир. И вполне принимаем ту картину Вселенной, которую она нам рисует... Но, помимо мира материального, есть другой мир, мир высший, недоступный науке, бог, сотворивший материю и вдохнувший в нее жизнь.

И добавил, как бы поясняя:

— Великой драме, которую мы называем космосом, предшествовал творческий проект: геометрия Вселенной. Бог повсюду занимается геометрией, и гений человека состоит в том, что он фиксирует ее буквами, фигурами и уравнениями.

Но философ был хорошо знаком с этой тактикой «мирного сосуществования» и «разделения сфер», пропагандируемой современными богословами. Его интересовало другое.

— А как же все-таки с конечностью и бесконечностью? — повторил он свой вопрос.

— Что бы там ученые ни утверждали — конечен мир или бесконечен, религиозное познание этим не затрагивается. Если Вселенная бесконечна — в этом воплощено величие господя, если же она конечна — то и в том воли и мудрость божия...

— А если Вселенная все-таки бесконечна, способна ли паука познать эту бесконечность?

— Бесконечность пельзя охватить обычными человеческими понятиями. Для этого необходим сверхъестественный носитель мудрости — господь бог...

На том и закончилась эта беседа, показавшая еще раз, что современные защитники религии стараются обратить в свою пользу любые данные науки, любые ее выводы и достижения в познании окружающей природы. И делают это довольно искусно. Хотя, разумеется, это всего лишь ловкий тактический прием. Существо религии от этого не изменилось: как и прежде, все от бога. Но в наш век космических полетов и атомной энергии на одной слепой вере в сверхъестественное далеко не уедешь. Вот современные богословы и стараются сделать религию более приемлемой для современного человека, придать ей видимость научной обоснованности. И для этой цели они не только ловко жонглируют научными данными, но идут и на прямую фальсификацию.

Странный мир множеств

Только разработка понятия «предела» помогла уяснить природу бесконечно малых величин. Но само это понятие получило строгое обоснование лишь в теории бесконечных множеств, создание которой стало одним из выдающихся достижений математики XIX столетия. Именно в этот период началось изучение множеств, состоящих из бесконечно большого числа элементов.

Пожалуй, самый первый шаг был сделан еще Галилео Галилсеем. Великий флорентийский ученый обнаружил, что можно установить так называемое взаимно однозначное соответствие между натуральными числами и их квадратами. Для этого достаточно сопоставить каждому целому числу результат его возведения во вторую степень. Таким образом, получается, что множество квадратов натуральных чисел так же велико, как и множество всех

натуральных чисел. Галилей обратил внимание на довольно неожиданное обстоятельство: из этого следовало, что бесконечное множество может быть равно своему подмножеству — ведь далеко не каждое целое число является квадратом какого-либо другого целого числа.

А это, в свою очередь, означало, что аксиома «часть меньше целого» может оказаться недействительной, когда речь идет о бесконечности. Замечание великого физика лишь усилило недоверие к бесконечным множествам. Кстати, это недоверие разделял и сам Галилей, а много позже, в 1833 году, математик Коши, один из создателей теории пределов, цитировал его высказывания для подтверждения подобной же точки зрения.

И лишь в середине XIX столетия чешский математик Бернард Больцано (1781—1848) пришел к обоснованному выводу о том, что отличие конечных множеств от бесконечных в том именно и состоит, что бесконечное множество равномощно своей собственной части.

Труд Больцано «Парадоксы бесконечного» вышел в свет в 1855 году, спустя три года после смерти ученого. Правда, это было скорее философское, нежели математическое исследование. Попытки Больцано образовать бесконечные множества все более высоких мощностей не увенчались успехом.

Решить эту задачу удалось только выдающемуся немецкому математику Георгу Кантору (1845 — 1918).

В 1883 году Кантор опубликовал статью «О бесконечных линейных точечных многообразиях». Как и книга Больцано, это было тоже философское сочинение с математическим уклоном, на что прямо указывал подзаголовок «Математически-философский опыт в учении о бесконечности».

Но его автор поставил перед собой сложнейшую задачу: не только осмыслить философское содержание понятия бесконечности, но и отыскать математические средства для его описания.

Кантор смело отбросил ставший уже чем-то традиционным страх математиков перед операциями с бесконечностью. Он свел понятие бесконечности к понятию бесконечных множеств и первым планомерно и последовательно занялся изучением их свойств.

Таким образом, основным объектом исследования в новой теории стало множество — совокупность объектов,

отвечающих определенному условию, объединенных некоторым общим признаком.

«Под многообразием или множеством,— писал Кантор,— я понимаю вообще всякое многое, которое можно мыслить как единое, т. е. всякую совокупность определенных элементов, которая может быть связана в одно целое, с помощью некоторого закона».

Скажем, множество четных чисел можно, по Кантору, определить так: это совокупность всех целых чисел, которые без остатка делятся на два.

Подобным же способом можно образовать и другие множества, как конечные, так и бесконечные, состоящие из тех или иных объектов. Например, множество всех людей, владеющих французским языком, или множество всех звезд с поверхностной температурой выше 6 тысяч градусов, или множество всех окружностей, обладающих общим центром.

Пожалуй, ни до Кантора, ни после него никто из математиков не брался с такой смелостью за проблему бесконечности и не вкладывал столько сил в ее решение.

«Я отлично знаю, что рассматриваемая мною тема,— писал Кантор,— была во все времена объектом самых различных мнений и толкований. Что ни математики, ни философы не пришли здесь к полному согласию. Поэтому я очень далек от мысли, что я могу сказать последнее слово в столь трудном, сложном и всеобъемлющем вопросе, как проблема бесконечности. Но так как многолетние занятия этой проблемой привели меня к определенным убеждениям и так как в дальнейшем ходе моих работ эти последние не поколебались, но лишь укрепились, то я счел своей обязанностью систематизировать их и опубликовать».

Кантор отлично понимал, что речь идет о расширении ряда целых чисел за бесконечное, то есть об операции совершенно необычной с точки зрения привычных математических и тем более обыденных житейских представлений.

— Я несколько не скрываю от себя,— говорил Кантор своим друзьям,— что, решаясь на это, я вступаю в конфликт с широко распространенными взглядами на математическую бесконечность.

Речь шла о взглядах, укоренившихся еще со времен Аристотеля, то есть об отношении к математической бес-

конечности как к бесконечности, становящейся потенциальной, которая может стать меньше или больше любой заданной величины, но которая в то же время сама всегда остается величиной конечной.

Даже великий Гаусс считал, что конечный человек не отважится рассматривать бесконечное как нечто данное и доступное его привычной интуиции.

«...Прежде всего я протестую против пользования бесконечной величиной в качестве законченной, каковое пользование в математике никогда не допускается — писал он в одном из своих писем. — Бесконечное является лишь *façon de parler* (способ выражения), между тем как речь идет собственно о пределах, к которым известные отношения приближаются довольно близко, тогда как другим предоставляется возрасть без ограничения».

— Говоря о «конечности рассудка», — возражал по этому поводу Георг Кантор, — молчаливо предполагают, что его способность образования чисел ограничивается только конечными числами. Но если окажется, что рассудок в состоянии также в известном смысле определять и отличать друг от друга бесконечные числа, то придется приписать человеческому рассудку предикат «бесконечный», что, по моему мнению, единственно правильно. Как ни ограничена человеческая природа, к ней все-таки прилипло очень много от бесконечного.

Если говорить совершенно строго, то потенциальная бесконечность абсолютно непригодна для решения практических задач. Ведь потенциальная бесконечность — это «вечно незавершенный процесс».

Другими словами, одно дело осуществимость потенциальной бесконечности в теории и совсем другое на практике. Воспользуемся современным примером из области теоретической кибернетики. С точки зрения этой науки осуществим любой алгоритм, даже если он требует бесконечного числа шагов. Но реальная электронно-вычислительная машина не в силах решить подобную задачу. Такой расчет лежит за пределами ее возможностей — ведь она обладает всего лишь конечной памятью и способна осуществить хотя и очень большое, но конечное число операций.

Впрочем, математики находили выход из положения: совсем не обязательно достигать бесконечности: на каком-то шаге можно остановиться и вести все расчеты с опре-

деленной степенью точности, достаточной, чтобы решение имело практический смысл. Скажем, при вычислении числа π то есть отношения длины окружности к ее поперечнику, вовсе не обязательно находить бесконечное число знаков после запятой. Вполне можно ограничиться, например, пятью знаками — не сотнями и не десятками знаков, а пятью или даже четырьмя. Для практических математических операций этого вполне достаточно.

— Потенциальная бесконечность, — признавал и Георг Кантор, — оказалась весьма хорошим и в высшей степени ценным оружием и в математике и в естествознании.

Но теория множеств, развитая Кантором, по существу, имеет дело с актуальной бесконечностью. С этой целью Кантор обобщил понятие обычного числа до понятия трансфинитного числа. Он сделал попытку создать математический аппарат для описания актуально бесконечных множеств.

Например, первое трансфинитное число ω Кантор определяет как наименьшее из всех чисел, больших любого натурального числа. При этом он использовал одно из определений предела: T является пределом $\{a_n\}$, если T наименьшее из чисел, больших каждого из a_n . Последующие трансфинитные числа получаются из ω путем прибавления единицы: $\omega + 1$, $\omega + 2$, $\omega + 3 \dots$ Трансфинитное число следующего, второго класса ω^2 есть наименьшее из всех чисел, больших чисел вида $\omega + n$ и т. д.

Счетные множества имеют мощность первого числового класса. Следующая мощность может быть приписана всем числам второго класса и т. д. Так строится шкала последовательно увеличивающихся мощностей бесконечных множеств.

«Все так называемые доказательства против возможности актуально-бесконечных чисел по существу ошибочны, — писал Кантор в одной из своих работ. — Потому что они заранее приписывают или скорее навязывают бесконечным числам все свойства конечных. Между тем, бесконечные числа должны образоваться благодаря своей противоположности конечным числам совершенно новый числовой вид, свойства которого вполне зависят от природы вещей и образуют предмет исследования, а не нашего произвола или наших предрассудков».

Главной отличительной особенностью теории Кантора явилось то обстоятельство, что бесконечные множества

рассматривались в ней в завершенном виде как совокупность бесконечного числа в с е х содержащихся в них элементов.

«Эта бесконечность элементов,— писал советский академик Н. Лузин,— «схваченная» вместе в одно целое данным характеристическим свойством, является тем самым уже данной вся целиком, уже сформированной и неизменной и, следовательно, как бы уже неподвижной и замкнутой в себе».

Георгу Кантору удалось достичь блестящих результатов и решить ряд очень важных задач, имевших первостепенное значение для развития математической науки.

Но, пожалуй, одной из самых замечательных особенностей новой теории множеств явилась ее небывалая общность. Операции с множествами и подмножествами не накладывают абсолютно никаких ограничений на характер объектов, составляющих эти множества. Они могут быть одушевленными или неодушевленными, маленькими или большими, реальными или воображаемыми. Это обстоятельство привело к тому, что понятия теории множеств стали в один ряд с наиболее общими понятиями логики.

А в одном пункте теория множеств даже ушла вперед: ведь ее понятия относятся к бесконечным классам объектов, в то время как даже самые общие понятия формальной логики относятся к конечным классам. При этом оказывались нарушенными обычные нормы мышления. Потеряло прежнее универсальное значение утверждение «целое больше своей части». Для трансфинитных чисел операция сложения оказалась зависимой от порядка слагаемых.

После работ Кантора операции с бесконечными множествами стали проводиться как если бы все их элементы находились в нашем распоряжении. Бесконечное в самом деле приобрело актуальный характер.

Смелые идеи Кантора, вступившие в противоречие с многовековыми традициями, господствовавшими в математике, идеи, которые приводили к неожиданным и парадоксальным результатам, встретили серьезную оппозицию в лице многих ученых того времени, хотя ни один значительный математик не выступил в печати с отрицанием теории множеств или ее отдельных положений.

Предубеждение к новой теории в какой-то мере объяснялось еще тем, что Кантор, будучи глубоко верующим

католиком, придавал своим статьям откровенно выраженную теологическую форму.

Так, он, например, пытался проводить параллель между свойствами бескопечных множеств и библейскими представлениями о боге.

И все же большинство так или иначе сознавали необходимость теории множеств для самых разнообразных областей математики. В частности, с неизменным вниманием относился к исследованиям Кантора его бывший учитель — один из крупнейших математиков того времени немецкий ученый Вейерштрасс. Когда в 1874 году Кантор доказал несчетность множества действительных чисел, заключенных на отрезке, Вейерштрасс убедил его опубликовать полученный результат и сделал все, чтобы работа Кантора была напечатана в самом распространенном математическом периодическом издании того времени «Журнале чистой и прикладной математики».

В августе 1897 года в Цюрихе состоялся первый Международный конгресс математиков, на котором присутствовало около 250 ученых из 16 стран. В первый же день на пленарном заседании выступал А. Гурвиц с докладом по теории так называемых аналитических функций. Все его выступление было пронизано теоретико-множественными идеями.

Теории множеств посвятил свой доклад также известный французский математик Ж. Адамар.

Это было официальным признанием теории.

Третий кризис

Казалось, все говорило о том, что теперь шествие теории множеств будет победным. Стремительно росло число публикуемых работ. Чуть ли не поголовно увлекались новой теорией молодые математики и студенты. Наконец получил глубокое и всестороннее обоснование анализ бесконечно малых.

— Мы можем сказать сегодня с удовлетворением, — торжественно объявил один из самых выдающихся математиков XIX века французский ученый Апри Пуанкаре (1854—1912), — что достигнута абсолютная строгость.

Вообще это был весьма любопытный период в истории естествознания, когда не только в математике, но и в

физике создано ощущение безмятежного благополучия, которое уже ничто не сможет нарушить. Разумеется, ученые знали, что есть еще немало проблем, которые предстоит исследовать, но были искренне убеждены в том, что в их распоряжении имеются уже все средства для решения чуть ли не любых задач.

В действительности же это было всего лишь обманчивое затишье перед бурей. И она разразилась почти одновременно и в физике и в математике. Возможно, такое совпадение не было простой случайностью. Историкам науки еще предстоит исследовать этот вопрос. Во всяком случае физика и математика развивались в тесной связи друг с другом.

То, что произошло в физике, достаточно общеизвестно. Был открыт целый ряд новых фактов, которые не укладывались в стройную и, казалось бы, непогрешимую картину мира, созданную классической физикой. Этот конфликт между теорией и природой привел к настоящей революции — появились совершенно новые физические теории: теория относительности и квантовая механика, новые не только в смысле новых положений и формул, но и в смысле совершенно нового подхода к пониманию явлений природы.

Кризис в математике разразился уже через два года после оптимистического заявления Пуанкаре. Известный английский ученый Б. Рассел и независимо от него Цермелло обнаружили неожиданный парадокс. Оказалось, что стройные и, казалось бы, логически неуязвимые положения теории множеств приводят к вопиющему логическому противоречию. Суть его состоит в следующем.

Некоторые множества содержат сами себя в качестве одного из элементов. Например, множество всех абстрактных понятий само является абстрактным понятием и потому тоже входит в это множество.

Вполне правомерно, с точки зрения канторовской теории множеств, рассматривать и множество всех существующих вообще множеств или множество всех множеств, обладающих определенным свойством.

Вот и составим множество всех множеств, которые не являются своим собственным элементом, и назовем его множеством A . Но поскольку мы собрали все множества, обладающие таким свойством, среди них должно быть и само множество A . Следовательно, A принадлежит к числу

множеств, которые являются своим собственным элементом. Но ведь мы составили множество A только из таких множеств, которые не входят сами в себя.

Несколько короче эту странную ситуацию можно выразить в следующей парадоксальной фразе: множество всех множеств, не являющихся своим собственным элементом, является своим элементом тогда и только тогда, когда оно не является своим элементом...

Тот же парадокс можно изложить и в более житейской форме. Одному бородобрею разрешили брить тех и только тех людей, которые не бреются сами. Таким образом, множество всех людей на Земле, казалось бы, делится на две категории, два различных подмножества — подмножество тех, кто бреется сам, и тех, кто сам не бреется.

Но к какому из двух подмножеств отнести самого парикмахера?

Если он сам себя брить не будет, то попадет в число тех, кого он должен брить. Но если он сам себя побреет, то окажется среди тех людей, которых он брить не должен.

Некоторые парадоксы теории множеств были известны и до этого. Два из них обнаружил сам Кантор, когда после продолжительной болезни, вызванной первым переутомлением, снова вернулся к математическим исследованиям.

Но парадокс Рассела — Цермелло произвел неизмеримо более сильное впечатление. Ведь он затрагивал не только теорию множеств и даже не только математику, но и логику вообще, — вспомним историю с бородбреем.

Возможно, все дело в том, что нельзя рассматривать слишком обширные множества — такие, как множество всех множеств, обладающих определенными свойствами.

Но если запретить множество всех множеств, мы приходим к противоречию с канторовским определением множества.

«Чтобы вообще иметь теорию множеств, — пишет известный математик С. К. Клини в своей книге «Введение в математику», — надо иметь теоремы, справедливые для всех множеств, а все множества, по канторовскому определению, образуют множество. Если это не так, то мы должны указать, каким определением множества мы будем пользоваться взамен...»

Но главное даже не в этом. Дело в том, что одним из основных, фундаментальных положений логики является так пазываемый закон исключенного третьего, основанный на многовековом практическом опыте человечества. Коротко этот закон можно выразить так: или «да» — или «нет». Другими словами, любое утверждение либо истинно, либо ложно — третьего быть не может, не может человек одновременно и бриться и не бриться.

Закон исключенного третьего можно сформулировать и в несколько иной более строгой форме: если об одном и том же предмете высказывается некоторое утверждение и утверждение, его отрицающее, то если одно из них истинно, то другое обязательно ложно.

В истории с брадобреем мы еще как-то можем найти выход из положения: брадобрея, удовлетворяющего предъявленным условиям, просто не может существовать, и закон исключенного третьего остается неприкосновенным. А вот в общем случае бесконечных множеств все обстоит значительно сложнее. Здесь уже далеко не ясно, существует или не существует объект с заданными свойствами; не можем мы, очевидно, поручиться и за справедливость закона исключенного третьего.

В области бесконечного отказывает наш опыт, а следовательно, нет и никакой гарантии того, что на эту область можно автоматически переносить законы нашей обычной логики.

События, развернувшиеся после того, как стал известен парадокс Рассела — Цермелло, Жорж Адамар назвал землетрясением в математике. И очень многие исследователи сразу же отшатнулись от теории множеств, а вместе с ней снова от операций с бесконечностью.

Даже немецкий математик Рихард Дедекинд (1831 — 1916), который начал работать в области теории множеств еще до Кантора и одновременно с Кантором развивал основные идеи в этой области, теперь пытался в своих работах обходиться без теоретико-множественных представлений.

А уже известный нам Давид Гильберт предпочитал воздерживаться от утверждений, что прямые и плоскости есть множества точек.

— Опубликование парадокса Рассела — Цермелло, — говорил он, — оказало на математический мир прямо-таки катастрофическое действие.

Но, как совершенно справедливо заметил, правда, по несколько иному поводу, советский ученый академик А. Н. Колмогоров, проблема не перестает быть проблемой от того, что о ней стараются не говорить.

Сам Кантор поставил устранение парадоксов главной своей задачей. И в последние годы жизни, по существу, только и занимался этой проблемой. Но решить ее так ему и не удалось.

Трудились над ней и другие математики. Но словно в насмешку число парадоксов не только не уменьшилось, но даже возросло.

Среди этих парадоксов особый интерес представляет так называемый «парадокс Сколема», который состоит в том, что при определенных обстоятельствах можно несчетное множество отобразить в счетное множество. Этот парадокс наводит на весьма интересную мысль: понятия счетности и несчетности, быть может, носят относительный характер.

Третий кризис оснований математики оказался необычайно глубоким. Он не преодолен до конца и сегодня, хотя, после того как прошел первый шок, над поисками выхода из создавшейся критической ситуации задумывались многие выдающиеся умы.

Чтобы лучше оценить случившееся, попробуем представить себе обсуждение этой волнующей проблемы математиками различных направлений.

Первый математик: Я надеюсь, все со мной согласятся, что состояние, в котором мы находимся сейчас в отношении парадоксов, на продолжительное время невыносимо.

Второй математик: Еще бы! Подумайте только: в математике, этом образце достоверности и истинности, образование понятий и ход умозаключений приводит к немелам. Где же искать надежность и истинность, если даже само математическое мышление дает осечку?

Третий математик: Что произошло бы с истинностью наших знаний, если бы даже в математике не стало достоверной истины?

Первый математик: На мой взгляд, в традиционном понимании математики и логики нет решительно ничего, что могло бы послужить основой для устранения парадокса Рассела. Это надо уяснить с самого начала. Я убежден, что любые попытки выйти из положения с помощью

традиционных способов мышления, имевших хождение до XX столетия, заведомо недостаточны и обречены на провал.

Второй математик: Мне думается, что все дело в проблеме существования. Как в самом деле выяснить, существует ли то или иное бесконечное множество с заданными свойствами? Ведь мы в принципе не можем перебрать все его элементы. Необходим какой-то критерий.

Первый математик: Какой же?

Второй математик: Я думаю, наиболее целесообразно считать существующим то, что внутренне непротиворечиво. Помните, как у Гегеля: все разумное действительно.

Третий математик: А на мой взгляд, существующим следует признавать только то, что можно сконструировать, построить. Разумеется, хотя бы в принципе.

Первый математик: А все остальное?

Третий математик: Все остальное следует из математики исключить, безжалостно изгнать как нечто лишнее смысла. Разумеется, нельзя полностью исключить из математики бесконечность, но вполне возможно уничтожить ее актуальный характер.

Первый математик: А как же быть с логикой?

Второй математик: Все дело в бесконечности, в бесконечности как таковой. А поскольку бесконечность проникает во всю математику, неизбежна реформа не только математики, но также и логики. Надо изучать математические построения сами по себе, а классическая логика для этого явно непригодна. И прежде всего необходимо отвергнуть принцип исключенного третьего.

Первый математик: Не слишком ли радикальные меры вы предлагаете? Для того чтобы вылечить палец, незачем ампутировать ногу. Отнять у математиков закон исключенного третьего — это то же самое, что забрать у астрономов телескоп или запретить боксерам пользоваться перчатками.

Такова ситуация. И наша маленькая дискуссия рисует ее достаточно объективно. Ибо все или почти все слова, произнесенные ее участниками, действительно были, хотя и в разное время, произнесены вполне реальными представителями математической науки.

Впрочем, на первых порах споры и диспуты были далеко не столь академичными. Страсти накалялись до предела.

— Не может быть никакой дискуссии, — говорил в то время математик Лебег, — ибо у спорящих нет общей логики, и ничего, кроме взаимных оскорблений, у них получить не может.

Прошло двадцать пять лет. И вот в сентябре 1930 года по инициативе научного журнала «Открытия» в г. Кёнигсберге собрался международный симпозиум, призванный обсудить вопрос об основаниях математики, все еще не потерявший свою остроту.

«Участники симпозиума серьезно пытались понять друг друга, — вспоминает один из тогдашних докладчиков А. Гейтинг. — Но каждый был убежден, что именно его точка зрения единственно правильная, что никакая другая не имеет права называться математикой и что его точка зрения обязательно победит в недалеком будущем».

Увы, надежды не оправдались. Прошло еще сорок с лишним лет, но кризисная ситуация сохранилась.

«Дух мирного сотрудничества одержал победу над духом непримиримой борьбы, — писал недавно тот же А. Гейтинг. — Ни одно из направлений теперь не претендует на право представлять единственно верную математику».

Итак, кризис, вызванный парадоксом Рассела — Цермелло, не преодолен и до сегодняшнего дня. И значение этого кризиса далеко не ограничивается рамками математики. В сущности, это глубокая философская проблема.

Столкновение с бесконечностью привело древнегреческих философов к зачаткам диалектического мышления. Оно показало, что реальный мир отнюдь не является зеркальным повторением наших идеализированных представлений о нем, что далеко не всегда и не во всем можно полностью доверяться наглядности и обыденному здравому смыслу.

Вторая встреча с бесконечностью — с бесконечно малыми величинами — также имела глубокое принципиальное значение. Она убедительно продемонстрировала, что понятие бесконечного не беспочвенная абстракция, ничего общего не имеющая с реальной действительностью — оказалось, что с бесконечностями можно оперировать и получать практические результаты.

Кризис, вызванный парадоксом Рассела — Цермелло, стал новой ступенью в изучении проблемы бесконечного.

И эта новая ступень, как с полным основанием считают многие ученые, потребовала и нового способа мышления, соответствующего тому уровню развития естествознания, какого оно достигло в нашу эпоху.

Существует ли такой способ? Да, существует. Это материалистическая диалектика, отражающая, с одной стороны, существо тех реальных процессов, которые происходят в окружающем нас мире, а с другой стороны, сложный и противоречивый процесс их познания.

И, пожалуй, самое знаменательное, что этот метод и сам по себе не является чем-то застывшим и раз навсегда данным. Как подчеркивал В. И. Ленин, диалектический материализм меняет свой вид с каждым великим научным открытием.

Революция в физике уже внесла свой весомый вклад в развитие материалистической диалектики. Теория относительности раскрыла перед нами глубочайшую внутреннюю взаимосвязь, казалось бы, совершенно разнородных явлений природы, убедила в том, что многие физические величины, представлявшиеся абсолютными, в действительности изменяются в зависимости от внешних условий. Квантовая теория разрушила метафизическое представление о причинности, показав, что будущее отнюдь не вытекает из прошлого с железной однозначностью, а связано с ним законами вероятности.

Кроме того, революция в физике продемонстрировала относительность наших знаний, не оставив сомнений в том, что любые естественнонаучные теории всегда обладают определенными границами применимости.

Что принесет с собой разрешение третьего великого кризиса в математике?

«Возможно,— говорит академик Наан,— мы стоим на пороге наиболее грандиозной революции в точных науках, в сравнении с которой даже коперниковская или канторовская революция или революции, связанные с открытием неевклидовых геометрий, построением квантовой теории или теории относительности будут казаться не столь уж радикальными».

Проблема континуума

Одним из важнейших постулатов, на который опирались все существовавшие до сих пор физические картины мира, а вместе с ними и наше мировоззрение, является постулат о непрерывности пространства и времени, то есть об их неограниченной бесконечной делимости.

Вопрос стоит так: если имеются две сколь угодно близкие точки, можно ли поместить между ними еще одну? И то же самое для моментов времени.

— Мы даже не можем по-настоящему представить себе, каков был бы мир, например, со «щелями» во времени! — говорит академик Наан. — И все-таки подобную возможность нельзя считать заранее исключенной.

Одним словом, непрерывность — одно из тех математических понятий, которые играют важнейшую роль в построении современной физической картины мира.

Даже частичный отказ от постулата непрерывности повел бы не только к принципиальным изменениям наших физических представлений о Вселенной, но и к весьма существенным последствиям философского характера. Ведь с этим постулатом самым тесным образом связаны такие фундаментальные понятия, как причинность, познаваемость всех частей мира и многие другие.

Если пространство и время дискретны, то есть состоят из отдельных обособленных точек или моментов, разделенных непроходимыми щелями, то их общее число во Вселенной хотя и может быть бесконечным, но эта бесконечность не более чем счетная. Эти точки или моменты можно, в принципе, перенумеровать с помощью чисел натурального ряда.

Если же пространство и время непрерывны, то уже на любом отрезке длины или интервале времени мы встретимся с множеством более высокой мощности, чем счетная, — множеством мощности континуума.

Еще Георг Кантор сформулировал проблему, которая представляет не только чисто математический, но и глубокий физический интерес: насколько велика пропасть, разделяющая эти две бесконечности — счетную и континуальную?

Эта проблема возникает совершенно естественным образом. В самом деле, ведь между двумя любыми соседними числами натурального ряда, скажем, между едини-

цей и двойкой располагается бесконечное множество точек числовой прямой — действительных чисел. Таким образом, континуальная бесконечность бесконечно богаче счетной или, иначе говоря, бесконечен скачок от счетного множества к континууму. Поэтому вполне логично задаться вопросом о существовании промежуточных бесконечностей.

Сам Кантор считал, что бесконечных множеств с промежуточной мощностью не существует. Это утверждение, получившее название проблемы континуума, он пытался доказать на протяжении многих лет, исходя из основных положений теории множеств, но безуспешно.

Проблема континуума — одна из тех знаменитых математических задач, которые, однажды возникнув, на протяжении многих десятилетий оставались неразрешенными, волнуя умы множества ученых.

На рубеже XIX и XX столетий Давид Гильберт, перечисляя важнейшие с его точки зрения задачи математики будущего, поставил проблему континуума на первое место.

Однако все колоссальные усилия математиков, направленные на ее решение, не принесли ничего реального вплоть до 1940 года, когда выяснилось, что проблема континуума теснейшим образом связана с другим важнейшим положением теории множеств, так называемой аксиомой выбора.

Как и в основе многих других математических теорий, в фундаменте теории множеств лежит система аксиом, исходных положений, из которых путем логических заключений выводятся все остальные положения.

Система аксиом должна быть непротиворечивой — логические выводы, полученные на ее основе, не должны вступать в противоречия друг с другом. Это одно из фундаментальных требований к исходным положениям любой научной теории, так как из противоречивых утверждений можно вывести все что угодно.

Ведь если два утверждения противоречат друг другу — одно из них неизбежно является ложным. Показательна в этом смысле своеобразная теорема, которую приводит математик Хаусдорф в качестве подстрочного примечания в своей знаменитой книге «Теория множеств»:

«Если дважды два равно пяти — то существуют ведьмы...»

Итак — непротиворечивость. Но, как уже было сказано, система исходных положений канторовской теории множеств этому требованию, к сожалению, не удовлетворяет — их логическое развитие приводит к неустраняемым парадоксам.

И многие математики как раз и видят выход из третьего великого кризиса в том, чтобы построить такую аксиоматику теории множеств, которая «давала бы все, что нужно, и ничего лишнего», то есть не приводила бы к парадоксам.

Попыток предпринималось немало. В настоящее время наибольшим признанием пользуется система аксиом Цермелло — Френкеля.

С парадоксами она пытается расправиться путем введения специальных «ограничительных» аксиом, попросту запрещающих существование таких множеств, которые приводят к неразрешимым противоречиям.

Удастся ли таким путем до конца преодолеть все трудности, покажет будущее. Сейчас нас интересует другое. В системе аксиом Цермелло — Френкеля есть несколько аксиом, непосредственно связанных с бесконечностью. Одна из них, например, постулирует ее существование. Другая — «аксиома выбора», аксиома, которая подобно вопросу о непрерывности имеет самое непосредственное отношение к нашим представлениям о физике Вселенной.

Как известно, обычные натуральные числа характеризуют не только количество, но и порядок. Пятый значит пятый по счету, то есть следующий за четвертым и предшествующий шестому.

Трансфинитные числа, введенные Кантором, устанавливают аналогичный порядок в мире бесконечностей. Кантор предполагал, что с помощью трансфинитных чисел можно перенумеровать любое бесконечное множество и тем самым упорядочить его подобно множеству натуральных чисел.

В том и заключается главный смысл теории множеств, что она превратила математическую бесконечность из чего-то неясного и расплывчатого, находящегося «по ту сторону» от обычных объектов, с которыми мы можем оперировать, в нечто доступное измерению и численному выражению, построила аппарат для исчисления бесконечностей. В дальнейшем предположение Кантора о возмож-

ности упорядочения любого множества было строго доказано исходя из аксиомы, предложенной Цермелло и получившей впоследствии название аксиомы выбора.

Для человека, мало знакомого с математикой, эта аксиома прозвучит, должно быть, несколько странно.

Предположим, что у нас имеется бесконечное множество непересекающихся, то есть не имеющих общих элементов бесконечных множеств. Тогда, утверждает аксиома выбора, можно построить по меньшей мере одно множество, которое содержит по одному и только одному элементу из каждого нашего множества.

На первый взгляд, такое утверждение представляется довольно тривиальным. В самом деле, если в школе есть, скажем, десять шестых классов и в каждом из них по 30—40 человек, то нет абсолютно ничего сложного в том, чтобы составить множество, и далеко не единственное, в которое войдет по одному представителю из каждого класса.

Да, действительно, для конечных множеств все получается очень просто. В сущности, в этом случае аксиома выбора — уже не аксиома, ее можно совершенно строго доказать.

Но вот, можно ли ее автоматически обобщить на случай бесконечных множеств, далеко не очевидно. Этот вопрос не мог не волновать математиков, хотя бы уже потому, что из аксиомы выбора непосредственно следует справедливость предположения Кантора об отсутствии промежуточных мощностей между счетным множеством и континуумом.

Вопрос стоял так: противоречит или не противоречит аксиома выбора другим исходным аксиомам теории множеств? После многолетних усилий ряда ученых в 1938 — 1948 гг. Курт Гёдель наконец нашел ответ на этот вопрос: аксиома выбора независима от других аксиом теории множеств и не вступает с ними в противоречие. А это означало, что континуум-гипотезу Кантора нельзя опровергнуть.

Но тем самым сложилась ситуация, весьма напоминающая знаменитую историю с пятым постулатом Евклида и чреватая далеко идущими последствиями.

Среди основополагающих аксиом евклидовой геометрии есть одна аксиома, посвященная вопросу о параллельных и хорошо известная каждому школьнику. Эта

аксиома — пятый постулат — утверждает, что через точку, расположенную вне прямой линии, можно провести лишь единственную прямую, параллельную данной. Это утверждение, согласующееся с нашим повседневным опытом, в течение длительного времени считалось вполне очевидным и не вызывало никаких сомнений. Правда, неоднократно делались попытки доказать пятый постулат, вывести его из других аксиом; однако эти попытки не приносили успеха, хотя подобными исследованиями занимались такие выдающиеся математики, как Лагранж, Лаплас, Даламбер, Фурье, Гаусс и многие другие.

Так продолжалось до тех пор, пока проблемой не заинтересовался наш соотечественник Н. И. Лобачевский (1792 — 1856). Он предпринял попытку построить такую геометрию, все аксиомы которой были бы тождественны обычным, но пятый постулат заменен другим: через точку, лежащую вне прямой, можно провести сколько угодно линий, ей параллельных.

Лобачевский рассуждал так: если подобное предположение неверно, оно неизбежно приведет к противоречию, и утверждение Эвклида о параллельных прямых будет тем самым доказано.

Однако никаких противоречий не возникло: оказалось, что с помощью системы аксиом, выбранной Лобачевским, тоже может быть построена вполне непротиворечивая геометрия.

Как известно, открытие Лобачевского совершило подлинный переворот в математических представлениях. Оно не только указало принципиально новые пути для развития самой математики, но и дало чрезвычайно важный толчок к новому пониманию роли математических и, в частности, геометрических методов в изучении окружающего нас мира.

Если эвклидова геометрия не единственная возможная геометрическая система, то вполне вероятно, что и геометрические свойства Вселенной могут выходить за рамки этой системы.

По существу, это был первый шаг к новой картине мира, построенной впоследствии теорией относительности.

В 1962—1964 гг. П. Коэн осуществил последний и самый важный шаг в решении проблемы континуума. Ему удалось доказать, что система аксиом Цермелло — Френкеля остается непротиворечивой и в том случае, если

заменить аксиому выбора другой аксиомой, противоположной по содержанию. В этой системе аксиом не выполняется и континуум-гипотеза Кантора, что также не приводит ни к каким противоречиям.

Многие считают, что открытие Коэна является одним из самых выдающихся достижений естественных наук во второй половине текущего столетия, и его можно сравнить с такими научными свершениями, как, скажем, открытие квазаров и пульсаров в астрономии или открытие закона «четности» в физике.

Ведь из работы Коэна следует, что может быть построена вполне непротиворечивая математика, в которой ни аксиома выбора, ни континуум-гипотеза не выполняются. И если обычная математика — это математика упорядоченного мира, то новая, о которой идет речь, — это математика мира, не поддающегося упорядочению. Вопрос: в какой степени такая математика отражает свойства реальной Вселенной, существуют ли в природе физические условия, которые ей соответствуют?

Заранее предугадать ответ на этот вопрос, разумеется, невозможно, его может дать только дальнейшее изучение реального мира.

Но сам по себе вопрос этот вполне законный. Хотя математические теории часто развиваются по своей внутренней логике и потому кажутся иной раз совершенно оторванными от реальности, в конечном счете в их основе лежат те или иные объективные факты. И поэтому тесная связь между математическими представлениями и развитием физической картины мира — связь, которую мы обнаруживаем буквально на всех этапах истории естествознания, далеко не случайна.

Совершенно отчетливо проглядывает эта связь и в исследовании проблемы бесконечности Вселенной, в изучении геометрических свойств окружающего нас мира.





МАТЕРИЯ И ГЕОМЕТРИЯ

Когда Вселенной не было?..

Шестого июня 1964 года на четвертой странице газеты «Комсомольская правда» под рубрикой юбилейного сотого выпуска «Клуба любознательных» была напечатана статья под необычным названием: «Когда Вселенной не было...»

Статья была подписана весьма авторитетными учеными — известным советским физиком-теоретиком академиком Яковом Борисовичем Зельдовичем и его молодым сотрудником, тогда кандидатом, а ныне доктором физико-математических наук Игорем Дмитриевичем Новиковым. Речь шла о теории так называемой «расширяющейся Вселенной».

«...В некоторый момент в прошлом, — говорилось в статье, — плотность вещества Вселенной была бесконечной. Вся бесконечная Вселенная была точкой! Как ни трудно свыкнуться с таким представлением о прошлом

мире, но большинство ученых считает, что расширение Вселенной началось с такого сверхплотного состояния. Больше того, можно назвать даже дату, когда наша Вселенная начала развиваться из точки...»

Через несколько дней сотрудница отдела писем выложила на стол заведующего отделом науки целую грудку конвертов. Большинство авторов задавали вопросы по существу, интересовались подробностями, просили разъяснить непонятные места, спрашивали о литературе.

Но были и такие, которые весьма озабоченно и даже с некоторой угрозой вопрошали: как же так? Что значит — когда Вселенной не было? Как понимать подобное утверждение? Уж не хотят ли уважаемые авторы статьи сказать, что в самом деле было такое время, когда Вселенной не существовало? Ведь это же чистой воды идеализм!.. Возрождение религиозных представлений о сотворении мира!..

Действительно, фраза «когда Вселенной не было...» звучит для нашего слуха несколько странно. Ведь слово «Вселенная» олицетворяет для нас мир, всю материю, все существующее.

Но если бы авторы негодующих писем заглянули в современную научную литературу по физике — их возмущение, вероятно, возросло бы многократно. Они встретили бы там и такие выражения, как «рождение» Вселенной, «возраст» Вселенной, «границы» Вселенной и т. п.

Однако на сей раз запад правоверных защитников атеизма, увы, пропал зря. Разумеется, и Зельдович, и Новиков, и другие советские ученые, работающие в области изучения Вселенной, отнюдь не меньшие материалисты, нежели авторы тревожных писем.

В чем же дело?

Действительно, на протяжении столетий астрономы фактически отождествляли понятие «Вселенная» с понятием «материя».

И в этом случае утверждение о начале Вселенной во времени действительно противоречило бы и фундаментальным законам физики, и одному из основных положений материализма о вечности материи.

Однако по мере развития естествознания и диалектико-материалистической философии, все отчетливее становится ясно, что наука не может изучать «всю материю», материю «саму по себе», во всем многообразии ее качеств

и свойств, а объектом ее исследования являются лишь определенные аспекты, стороны, фрагменты материального мира. А это и означает, что Вселенная как объект научного исследования — не есть весь материальный мир, «Вселенная в целом». Впрочем, возможно, этот факт еще не скоро повлиял бы на изменение терминологии — терминология вещь довольно консервативная. Но тут сыграло роль одно обстоятельство.

В последние десятилетия астрономическая наука весьма тесно сблизилась с физикой — на передний план выдвинулось изучение физических процессов, протекающих в космосе. Не удивительно, что это новое многообещающее поле деятельности привлекло к себе внимание многих физиков, в особенности физиков-теоретиков. «Явившись» в астрономию, физики принесли с собой и свою привычную терминологию, и привычные способы описания явлений.

Вселенная для физика — это прежде всего тот объект, изучением которого он занимается в данный момент, теоретическую модель которого он может в настоящее время построить. И когда физик говорит «Вселенная», речь идет, так сказать, о «наблюдаемой Вселенной», чаще всего о папеей Метагалактике.

Но Метагалактика не обязательно весь мир, вся материя. Значит, она вполне могла иметь начало во времени и ни к каким идеалистическим или теологическим выводам это обстоятельство отнюдь не ведет. Так что тревога, поднятая авторами некоторых писем в «Комсомольскую правду», оказалась напрасной.

Но с другой стороны, вопрос о том, что же такое Вселенная с точки зрения современной космологии, представляет собой весьма сложную проблему. Проблему, которая имеет для космологии первостепенное значение.

Москва. Декабрь 1972 года. Конференц-зал Института философии Академии наук. Первый Всесоюзный симпозиум по философским проблемам астрономии. В центре внимания космология — наука о Вселенной в целом. На трибуне очередной докладчик — академик Г. И. Наан.

— Пятнадцать лет назад, — говорит он, — я знал в точности, что такое Вселенная и что такое космология, знал, что правильно и что неправильно. Теперь такой уверенности у меня нет и в помине.

Возможно, из полемических соображений академик несколько сгустил краски. Но в целом ситуация действительно такова. И в этом нет ничего плохого. Наоборот, как ни парадоксальна подобная ситуация, она свидетельствует о фундаментальном характере проблем, стоящих перед современной космологией. Например, академик Виталий Лазаревич Гинзбург считает, что принципиальными физическими проблемами являются именно те проблемы, которые обладают существенной неопределенностью.

— Космология, — подчеркнул Наан, — отличается существенной неопределенностью как объекта исследования, так и подходов к его изучению. А ее обобщения и экстраполяции нередко заходят весьма и весьма далеко. Возможно, это одна из причин распространенного недоверия к космологии.

Характерно, что такого мнения придерживаются многие другие крупные исследователи. Например, известный французский ученый Леон Бриллюэн в своей книге «Новый взгляд на теорию относительности» отнес космологию к области... научной фантастики.

Должно быть, подобные мнения возникают в какой-то мере как ответная реакция на некоторые действительно фантастические высказывания по космологическим вопросам. На симпозиуме произошел любопытный эпизод. Один из выступавших сообщил, что не так давно он прочитал в какой-то научной статье о том, что так называемое реликтовое излучение — это будто бы остаточное излучение, возникшее в будущем цикле развития звездной Вселенной, где течение времени должно быть обратным по сравнению с нынешним. На этом основании выступавший сделал вывод, что вообще к космологическим построениям следует относиться по меньшей мере с величайшей осторожностью.

После этого он посмотрел в сторону сидевшего за столом президиума академика Наана, известного своими работами по философским вопросам космологии, и с недвусмысленной улыбкой произнес:

— Надеюсь, я вас не задел?..

— Между прочим, недавно я тоже прочитал в одном журнале, — заметил в связи с этим академик Наан в своем докладе, — что спектры звезд, которые астрономы фиксируют на фотопластинках, в действительности таковыми не являются, так как спектральные наблюдения ведутся

в ночное время, а в этот период, как известно, выпадает роса, которая и является подлинной создательницей «астрономических» спектров. Но было бы нелепо на основании подобного «утверждения» отказывать в доверии всей астрофизике.

Вообще отдельные неудовлетворительные или даже вовсе нелепые работы сами по себе не могут дискредитировать ту или иную область науки. Вероятно, таких работ намного больше, чем заслуживающих внимания. Невольно вспоминается одно из высказываний академика Л. Д. Ландау, отличавшегося сокрушительным остроумием:

— Плохие работы не портят науку. Если бы портили, то от науки давно ничего бы не осталось.

Но вернемся к космологии и к результатам космологических исследований. В какой же степени они заслуживают доверия?

Густав Иоганович Наан однажды остроумно заметил:

— Нередко говорят: «Космология доказывает, что Вселенная бесконечна (или конечна)». Но если отнестись к этому утверждению совершенно строго, то единственным вполне ясным словом во всей фразе является служебное слово «что». Что же понимается под «космологией», «бесконечностью», «доказательством» и «Вселенной», остается весьма неясным.

Все же попытаемся определить, что же такое космология и решением каких задач она занимается. Об этом на декабрьском симпозиуме говорил известный московский космолог А. Л. Зельманов.

Может быть, космология — это теория всей охваченной наблюдениями части Вселенной? Однако никакая часть Вселенной не может быть физически изолированной системой, а значит, и теорию любой части Вселенной нельзя строить без теоретического выхода за ее пределы.

Тогда, быть может, космология — это теория Вселенной как целого, то есть такой Вселенной, которая рассматривается во взаимоотношениях с любыми ее частями? Однако выводы подобной теории было бы абсолютно невозможно проверить наблюдениями. Наблюдениями можно проверить только выводы, относящиеся к той части Вселенной, которая доступна современным средствам астрономического исследования.

Так что же такое космология?

Для успешного ответа на этот вопрос, по мнению Зельманова, необходимо ввести различие между понятиями физического учения и физической теории. Учение — более общее понятие, чем теория. Теория — это такое учение, которое можно непосредственно проверить наблюдениями или экспериментами. Учение же может быть такой проверке и недоступно. В его основе могут лежать не конкретные факты или наблюдения, а основные физические теории и фундаментальные философские принципы.

Используя эту терминологию, Зельманов предложил следующее определение космологии:

«Космология есть физическое учение о Вселенной как целом, включающее в себя теорию всего охваченного астрономическими наблюдениями мира как части Вселенной».

Непосвященному человеку может показаться, что идет никому не нужный спор о словах — и только: в конце концов ведь неважно, что и как называть, важны результаты. Но в том-то все и дело: чтобы получать успешные научные результаты, необходимо отчетливо представлять себе цели и задачи исследования, характер объекта или явления, которые подвергаются изучению. Иначе научный поиск неизбежно превратится в хаотическую азартную погоню за случайными открытиями.

Но если космология — это учение и, следовательно, ее выводы нельзя проверить наблюдениями, то где гарантия, что они отражают реальное положение дел? Может быть, все-таки прав Бриллюэн, и космология действительно не что иное, как научная фантастика?

Однако Зельманов считает, что проверочный критерий есть и для космологии. Этот критерий — практика. Практика в самом широком значении этого слова — как вся человеческая деятельность, включая создание и разработку научных теорий. А работает этот критерий так. Поскольку в основе космологии лежат основные физические теории, то при смене этих теорий теориями более общими, опирающимися на гораздо большее количество фактов, меняется и космология. Что-то в ней отбрасывается, что-то сохраняется и уточняется. Именно эти сохраняющиеся выводы и следует с достаточно большой степенью вероятности признать правильными.

Таково определение космологии, предложенное Зельмановым. Но и эта формулировка, к сожалению, не ис-

ключает той неопределенности объекта, о которой говорит академик Наан. Космология — учение о Вселенной. И мы снова приходим к тому же вопросу: а что такое Вселенная? Какой объект мы имеем в виду, произнося это слово? Какую именно материальную систему мы изучаем, решая вопрос о пространственной бесконечности или конечности Вселенной?

Казалось бы, самое простое решение вопроса — договориться о том, что «Вселенная — это все существующее». Такой точки зрения придерживался в свое время и сам академик Наан:

— Вселенная, с одной стороны, охватывает все в наиболее буквальном значении этого слова, с другой же стороны, Вселенная — это нечто сугубо единичное, она, как говорил Пуанкаре, «издана лишь в одном экземпляре»... Наиболее общие черты Вселенной в то же время являются и ее индивидуальными чертами — других Вселенных ведь нет.

Итак, «все существующее»?.. Но, как совершенно справедливо подчеркивает московский философ Вадим Васильевич Казютинский, термин «существование» в достаточной степени многозначен. И следует уточнить, о каком же «существовании» идет речь в астрономии?

Скажем, можно было бы считать существующим то, что удастся непосредственно наблюдать с помощью современных средств научного исследования.

В сравнительно недалеком прошлом это была бы «звездная» Вселенная, то есть фактически наша Галактика, а в настоящее время, когда нам известны и другие галактики, — часть «Большой Вселенной», Метагалактика.

Но современная физика уже убедила нас в том, что наблюдаемость — ненадежный критерий существования. Например, одним из основных представлений квантовой электродинамики является представление о так называемых виртуальных частицах, которые окружают любую реальную частицу, возникая и тут же исчезая, — о частицах, которые одновременно и существуют и не существуют. Никто и никогда непосредственно виртуальные частицы не наблюдал. Однако в природе все происходит так, как если бы они реально существовали.

А в астрономии? Достаточно хотя бы того, что из-за конечной скорости распространения электромагнитных волн мы все космические объекты наблюдаем с запазды-

ванием — тем более значительным, чем дальше они находятся. Скажем, всем известная Полярная звезда расположена на расстоянии 460 световых лет, значит, мы видим ее такой, какой она была около пяти веков пазад. Можно ли при таких условиях безоговорочно утверждать, что она существует, на основании того, что мы ее паблюдаем сегодня?

Вероятно, все же существует, поскольку за 460 лет со звездой такого типа вряд ли может произойти что-либо кардинальное. И все же это только вероятность. А ведь нам известны и нестационарные космические объекты, где глубокие качественные изменения происходят в сравнительно короткие промежутки времени, буквально в течение нескольких лет. Как быть с ними?

— Встречаются порой люди, — саркастически заметил американский физик-теоретик лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман, — утверждающие, что они могут узнавать будущее. На самом же деле ни один провидец будущего не способен узнать даже настоящее! Нам никто не скажет, что сию минуту происходит достаточно далеко от нас, потому что это непаблюдаемо.

Возможны и еще более сложные ситуации. Одним словом, паблюдаемость как критерий существования для астрономии мало пригодна.

— Правильнее исходить из другой идеи, — утверждает А. Л. Зельманов, — согласно которой во Вселенной осуществляется все многообразие физических условий и явлений, допускаемых основными физическими теориями.

Но ведь это значит, что различным физическим теориям могут соответствовать разные картины Вселенной, так сказать, разные «теоретические Вселенные».

Таким образом, мы приходим к выводу, что Вселенная, которую изучают физики и астрономы, — это не весь материальный мир, а та его часть, которая выделяется определенными паблюдательными и теоретическими средствами, то есть определенный аспект «всего существующего», соответствующий достигнутому уровню развития науки. Но так как и средства астрономических паблюдений, и научные теории постоянно развиваются, то вместе с тем может изменяться и то, что мы пазываем Вселенной.

Примерно к такому выводу и приходит В. Казютипский.

Аналогичной точки зрения придерживается и московский философ профессор Э. М. Чудинов.

— Релятивистские вселенные, — говорит он, — правильное было бы считать идеализированными конструкциями, которые схематично и с определенной для данного этапа развития науки степенью точности и полноты отражают материальный мир.

— Конечно, какое-то разделение понятий, — заметил по этому поводу А. Зельманов, — которое отражало бы тот факт, что мы изучаем и наблюдаем лишь некоторую часть «всего существующего», можно провести. Но если уж проводить терминологические разграничения, то, на мой взгляд, следовало бы поступать как раз наоборот. То есть все существующее пазывать «вселенной», а изучаемую область «миром». Если уж приводить термины в соответствие с их фактическим употреблением, то нельзя не учитывать, что под «миром» люди в большинстве случаев понимали нечто меньшее, чем вселенную. Миром человек называл ту часть Вселенной, где он живет, — не только Солнечную систему или Землю, но даже село. Вспомните поговорку «на миру и смерть красна».

Впрочем, Зельманов считает, что и такое решение вопроса имеет свои отрицательные стороны. Дело в том, что было время, когда некоторые философы и астрономы считали, что космология как наука о Вселенной в целом вообще не имеет права на существование. Они утверждали, что какое бы то ни было распространение известных нам данных, полученных на основе изучения ограниченной области мира, на всю Вселенную — принципиально недопустимо. Но в конце концов космология все же утвердила свое право на существование и в последние годы добилась немалых успехов.

— У меня возникают опасения, — с тревогой говорит Зельманов, — как бы все эти терминологические уточнения не исказили существо дела.

Действительно, согласно определению Зельманова, космология — это наука, объектом исследования которой является Вселенная как целое, то есть именно весь мир.

Другой вопрос, что различные модели отражают разные стороны и аспекты реального мира, выделяя из него ту или иную совокупность процессов и явлений. И эти модели могут служить объектами самостоятельного исследования. Но исходный объект — реальный мир — все же

один-единственный. Наши представления о нем могут меняться, но сам он существует и обладает определенными свойствами независимо от наших исследований.

По существу, речь идет о праве науки изучать Вселенную как целое.

Однако и то, и другое понимание Вселенной не свободны от некоторых трудностей и противоречий.

В частности, если рассматривать Вселенную как целое, то не исключено, что, поскольку речь идет о столь всеохватывающем объекте, для него вообще нельзя сформулировать достаточно точное, полное и непротиворечивое определение.

Как мы уже знаем на опыте теории множеств, всеобъемлющие совокупности каких-либо объектов принципиально отличаются от конечных множеств тех же объектов. И попытки распространить на них уже известные закономерности, применить к ним обычные логические средства неизменно приводят к глубоким противоречиям.

Не так ли обстоит дело и с попытками определить, что же такое Вселенная?

Таким образом, относительно понятия «Вселенная» среди философов, физиков и астрономов полное согласие пока не достигнуто.

Вопрос остается открытым — он требует дальнейшего осмысления и уточнения.

И все же большинство современных исследователей, применяя этот термин с теми или иными нюансами, фактически ведут речь о некоторой области процессов и явлений, выделенной определенными научными средствами.

Именно относительно такой Вселенной и ставится вопрос о конечности или бесконечности. И уже другой вопрос, совпадает ли такая Вселенная, например, Метагалактика, со всем существующим или за ее пределами находятся и другие метagalактики.

И в такой постановке вопроса нет, разумеется, никакого посягательства на право космологии строить теоретические концепции мира в целом, выходящие сколько угодно далеко за рамки «наблюдаемой Вселенной». Не следует только упускать из вида, что любая такая «теоретическая Вселенная» никогда не станет полностью завершенным «изображением» реального мира. Дальнейшие исследования с неизбежностью будут его дополнять и углублять.

Вселенная и бесконечность

Итак, мы обсудили, что следует подразумевать под термином «Вселенная».

Теперь второй вопрос: что значит бесконечность Вселенной? Или — ее конечность?

И можно ли вообще сказать что-либо определенное о бесконечности, если речь идет о бесконечности пространства и времени? Ведь одно дело оперировать с математическими символами, отражающими свойства бесконечных множеств вообще, и совсем другое дело изучать конкретную реальную бесконечность реальной Вселенной.

Да и можно ли изучать Вселенную как целое вообще — изучать то, что нельзя ни наблюдать, ни измерить?

И что значит изучать? Разве не достаточно постараться пайти ответ хотя бы на вопрос — конечна Вселенная или бесконечна?

Но почему именно на этот вопрос? И существует ли вообще на него ответ? Может быть, и вопрос поставлен неправильно, некорректно?..

Что происходило в математике? Люди заинтересовались бесконечностью. Прежде всего им хотелось узнать, существует она или нет, достигается или не достигается.

Потом их внимание привлекла необычность бесконечности, ее особые свойства, которые заставляли задуматься о том, что природа сложнее наших обыденных представлений, побуждали мыслить смелее, не боясь переступить рамки привычного.

Но самым важным был следующий шаг, когда люди стали оперировать с бесконечностью, изучать ее свойства, раскрывать ее закономерности...

Значение этого шага было не только в том, что он явился очередным этапом в развитии математики. С одной стороны, он позволил подвести стройный логический фундамент под все здание математической науки, а с другой — поставил целый ряд принципиально новых проблем. И те усилия, которые были предприняты для их решения, привели к возникновению новых плодотворных ветвей математики, способствовали более глубокому пониманию картины мира, утверждению более прогрессивного стиля научного мышления.

Таков путь. Таков итог. То, с чем пришла математика к восьмому десятилетию XX века,

Много сходного и в истории изучения проблемы бесконечности Вселенной. Об отдельных ее этапах и проблемах — речь впереди. Важна цель.

Видимо, дело не только в том (так по крайней мере подсказывает опыт математики), чтобы ответить на вопрос, конечна Вселенная или бесконечна, хотя это очень и очень важно. Но не менее важно выяснить, что за всем этим стоит, какие свойства материи, какие особенности строения окружающего мира. А это, в свою очередь, необходимо не только для того, чтобы просто больше знать и больше уметь, но прежде всего для того, чтобы сам человек как разумное существо поднялся на новую более высокую ступень своего развития.

В конце концов именно таков итог фундаментальных научных свершений, даже независимо от количества чисто практических приложений, которые они повлекли за собой.

Таково положение вещей с позиций, так сказать, большой философии. И это вполне естественно. Ведь не случайно же философия всегда интересовалась бесконечностью, справедливо видя в ней одно из самых ярких проявлений диалектики природы.

Но если так, то, может быть, философия, диалектический материализм, способна дать по проблеме бесконечности Вселенной и какие-то конкретные рекомендации? Скажем, наметить пути, установить какие-то критерии, определить, что возможно, а чего в природе быть не может ни при каких обстоятельствах?

И тут мы подошли к вопросу, который имеет для развития науки отнюдь не умозрительное значение.

Декабрь 1970 года. Москва. Зал заседаний Дома ученых. Второе Всесоюзное совещание по философским проблемам современного естествознания. Событие, отнюдь не рядовое, если учесть, что за всю историю советской науки подобных совещаний было всего только два и с той поры, когда состоялось первое, прошло довольно много времени.

В числе основных докладчиков философы Копниц, Омеляновский, Казютипский, ученые-естественники Амбарцумян, Блохинцев, Фок, Дубинин, Анохин, Берг. Астроном, физики, генетик, физиолог, кибернетик...

Случайность?

— Хочу отметить, — подчеркнул выступавший с первым докладом академик Амбарцумян, — что за последние годы союз философов и естественников существенно укрепился. Теперь уже все считают, что решать те или иные конкретные проблемы могут только конкретные науки на основе изучения свойств реального мира. Попытки путем чисто логических рассуждений выводить из философских идей конкретные естественнонаучные результаты в настоящее время справедливо отброшены.

Непосвященному этот пассаж покажется загадочным намеком. На самом же деле все очень просто. Амбарцумян имел в виду то обстоятельство, что было время, когда некоторые философы, не поспевая за стремительным развитием естествознания, упрямо защищали устаревшие представления и о своем месте в процессе познания, и о взаимоотношениях между философией и естественными науками.

Между тем Ф. Энгельс еще на заре формирования физики, химии, биологии, которые позже обогатились поразительными открытиями, обращал внимание на изменения, вызванные этими науками в философии. «...Это вообще уже больше не философия, — говорил он, — а просто мировоззрение, которое должно найти себе подтверждение и проявить себя не в некоей особой науке наук, а в реальных науках. Философия, таким образом, «снята», т. е. «одновременно преодолена и сохранена», преодолена по форме, сохранена по... содержапию»¹.

Наконец еще раз напомним, что В. И. Ленин, защищая выдающиеся достижения естествознания от попыток истолковать их с идеалистических позиций, прямо подчеркивал, что диалектический материализм сам меняет свой вид с каждым великим научным открытием.

В настоящее время подавляющее большинство советских философов, работающих в области естествознания, всячески стремится к самому тесному контакту с представителями естественных наук, к совместному решению наиболее сложных, принципиальных проблем.

Да иначе и быть не может.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 142.

«...Естествознание прогрессирует так быстро,— писал В. И. Ленин,— переживает период такой глубокой революционной ломки во всех областях, что без философских выводов естествознанию не обойтись ни в коем случае»¹.

Именно в те периоды, когда происходит смена научных взглядов, когда привычные представления уступают место принципиально новым идеям, с особенной яркостью и отчетливостью проявляется тесная связь между естествознанием и философией.

«Конец натурфилософии, разумеется, не означает, что природа перестала быть объектом философского мышления,— говорит один из ведущих советских философов академик П. Федосеев.— Так могут ставить вопрос позитивисты, а не сторонники материалистической диалектики. Воспроизведение общей картины мира в свете современной науки — это неременная обязанность философов-марксистов. Наиболее общие законы развития бытия и мышления, в том числе, стало быть, и общие законы познания природы, были и остаются предметом материалистической диалектики. Мы считаем бесспорным, что есть диалектика природы, есть философия естествознания или, как мы чаще сейчас называем, философские проблемы естествознания. Но мы отрицаем натурфилософию в специфическом смысле — именно как метод решения естественнонаучных проблем путем философских умозаключений взамен специальных наук».

Но если в прошлом периоды революционных преобразований в науке были разделены десятилетиями, а иногда и столетиями, то в наше время наука развивается столь стремительно, что изменения существующих представлений происходят чуть ли не непрерывно, непрерывно генерируются все новые и новые идеи. И все это сливается в единый процесс — всеобщую научно-техническую революцию.

Возрастает и роль философии в развитии естествознания. Это вовсе, разумеется, не значит, что философия должна решать конкретные естественнонаучные задачи в тех случаях, когда их почему-либо еще не смогли решить физика, астрономия, математика и другие точные науки.

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 45, стр. 31.

Но, с другой стороны, значение философии для развития естествознания не ограничивается и тем, что она дает естественным наукам методологию научного исследования. Философия диалектического материализма освещает путь развития науки. И прежде всего ее эвристическая роль сказывается при формулировании новых идей.

Дело в том, что в науке нередко складываются такие ситуации, когда вновь открываемые факты не дают сами по себе достаточных оснований для их однозначного толкования. Подобные факты часто оказывается возможным объяснить исходя из противоположных представлений. Вот в таких-то случаях особенно необходим философский анализ, помогающий выбрать наиболее перспективное направление исследований, оценить эффективность тех или иных идей, а иногда и подсказать новые.

Союз философии и естествознания! Он особенно важен в такой фундаментальной науке, как наука о Вселенной, изучающей наиболее глубокие и всеобъемлющие закономерности окружающего нас мира. И этот творческий союз с каждым годом становится все теснее. Все чаще и чаще собираются советские философы, астрономы, физики на совместные совещания, семинары, симпозиумы, чтобы обсудить друг с другом наиболее сложные проблемы, наметить пути дальнейших исследований.

И одной из проблем, которая не раз подвергалась совместному обсуждению философов, астрономов и физиков, является проблема бесконечности Вселенной.

В частности, на протяжении ряда лет последовательно развивает принципиально новый подход к этой проблеме эстонский академик Густав Иоганнович Наан.

В нашем распоряжении нет какого-то окончательно установленного понятия бесконечности — такова исходная позиция ученого.

Само это понятие непрерывно развивается, всегда лишь приблизительно отражая реальную бесконечность.

«Проблема бесконечности состоит не в том, — подчеркивает академик, — соответствует ли Вселенная тому или иному из наших эталонов бесконечности, а в том, насколько наш непрерывно совершенствуемый эталон бесконечности соответствует различным аспектам реальной бесконечности Вселенной».

Таким образом, как совершенно справедливо считает философ Л. Баженев, речь должна идти не только о том, бесконечен ли мир, но и о том, что эта бесконечность собой представляет.

На первых страницах этой книги мы уже касались истории развития представлений о бесконечности Вселенной.

Теперь пришло время познакомиться с этим вопросом более подробно.

От Аристотеля до Эйнштейна

Как уже говорилось, древнегреческие мыслители пытались решить вопрос о геометрических свойствах Вселенной чисто умозрительно, исходя из обыденных, наглядных представлений об окружающем.

Когда же Аристотель построил свою геоцентрическую систему мира, впервые появилась возможность делать выводы о конечности или бесконечности Вселенной, исходя из естественнонаучных данных того времени.

Согласно системе Аристотеля, все небесные светила обращаются вокруг Земли и притом с одинаковой угловой скоростью, совершая один оборот в сутки. Значит, чем дальше расположено от Земли то или иное небесное тело, тем большей линейной скоростью оно должно обладать. Ведь чем дальше, тем больше длина той окружности, которую планета или звезда должна описать в течение суток.

Если предположить, что существуют звезды, которые находятся на бесконечно больших расстояниях от Земли, то они должны перемещаться в пространстве с бесконечно большими скоростями.

Принцип запрета сверхсветовых скоростей в то время, разумеется, не был еще известен. Но интуиция подсказывала, что реальные тела не могут перемещаться с бесконечно большой скоростью. К тому же Аристотель, как мы уже отмечали, а вслед за ним и большинство мыслителей последующих эпох, не признавали актуальной, то есть осуществившейся бесконечности.

Таким образом, из картины мира, нарисованной Аристотелем, с неизбежностью следовал вывод о конечности мира. К подобному заключению Аристотеля приводили и

некоторые соображения чисто физического порядка. К ним мы еще вернемся.

Вывод о конечности мира сохранил свою силу и по отношению к гелиоцентрическому учению Коперника с той лишь разницей, что центром обращения всех небесных тел стало теперь Солнце.

Сейчас нам ясно, в чем ошибочность подобных рассуждений. Все дело в том, что и Солнце вовсе не является центром мира, как считал Коперник, а лишь центром нашей Солнечной системы. Но во времена Коперника вывод об ограниченности Вселенной казался неопровержимым.

Первым, кто усомнился в этом и широко провозгласил идею бесконечности Вселенной, был Джордано Бруно.

«...Вселенная не имеет предела и края, но безмерна и бесконечна...» — писал великий итальянский мыслитель в своих знаменитых «Диалогах».

В безграничности Вселенной Бруно видел возможность освобождения человеческого духа от сковывавших его в мрачную эпоху средневековья всяческих границ, которые невольно отождествлялись для него с «небесной твердью».

Кристалльной сферы мнимую преграду,
Поднявшись ввысь, я смело разбиваю,
И в бесконечность мчусь, в другие дали,
Кому на горе, а кому в отраду; —
Я Млечный Путь вблизи вам оставляю... —

писал Бруно в одном из своих сонетов.

Однако выводы Бруно не носили физического или астрономического характера, а были основаны на общих соображениях философского толка.

Естественнонаучное обоснование этих идей попыталась дать физика Ньютона. Из основных законов классической механики следует, что любая конечная система материальных частиц или тел должна в результате взаимного притяжения собраться к одному общему центру. Таким образом, с точки зрения физики Ньютона сколь угодно устойчивая конечная материальная Вселенная просто не может существовать.

А поскольку она существует и не собирается к одному центру, значит, она бесконечна.

Вопрос казался вполне ясным и решенным беспово-

ротно и окончательно, как, впрочем, и все другие проблемы, получившие описание в рамках классической физики.

— Сегодня можно смело сказать, — оптимистически заявил на рубеже XIX и XX столетий один из авторитетнейших физиков того времени англичанин Вильям Томсон (лорд Кельвин), — что грандиозное здание физики — науки о наиболее общих свойствах и строении неживой материи, о главных формах ее движения — в основном возведено. Остались мелкие отделочные штрихи.

Казалось, выводы классической физики Ньютона о бескопечности мира находят себе убедительное подтверждение и в астрономических наблюдениях.

С развитием методов изучения Вселенной ученым удалось установить, что звезды паходятся от нас на разных расстояниях. И тем самым возможная «граница мира» значительно отодвинулась.

Прошло еще некоторое время, и оказалось, что окружающие нас звезды образуют обособленную звездную систему — Галактику. Были определены размеры этого звездного острова: выяснилось, что его протяженность составляет около 100 тысяч световых лет.

Затем были открыты другие галактики, удаленные от нашей на огромные расстояния. От одной из ближайших галактик — зваменитой туманности Андромеды, световой луч преодолевает расстояние до Земли за 2 миллиона световых лет!

По мере дальнейшего совершенствования методов астрономических наблюдений ученые открывали все новые и все более далекие космические объекты. Казалось, это может служить свидетельством бесконечной протяженности Вселенной, подтверждающим картину мира классической физики XIX столетия.

Был этот мир глубокой тьмой окутан.

Да будет свет! И вот явился Ньютон...—

восторженно возглашала эпиграмма того времени.

Но, как это нередко случается в науке, достигнутая ясность оказалась обманчивой, а истина — куда более сложной, чем представлялось последователям Ньютона.

Разработанная в начале текущего столетия Альбертом Эйнштейном теория относительности перевернула уже

успевшие стать привычными ньютоновские представления о пространстве и времени и заставила еще раз пересмотреть вопрос о бесконечности Вселенной.

Великая теория

Вероятно, не требует особых доказательств тот факт, что великие научные открытия подготавливаются эпохой, всем предшествующим ходом развития естествознания.

Недаром история знает так много случаев параллельных открытий, когда ученые, работающие в разных странах и совершенно ничего не знающие о результатах друг друга, одновременно приходят к установлению одних и тех же новых научных фактов.

В начале XX столетия идеи теории относительности, можно сказать, носились в воздухе. На них естественным образом наталкивали экспериментальные факты и прежде всего знаменитый опыт Майкельсона, который вопреки классической физике показал, что скорость света не зависит от движения источника излучения. К ним подводила и внутренняя логика развития самой физики. В частности, неограниченную веру в непогрешимость классической картины мира подрывали такие события, как открытие рентгеновских лучей и радиоактивности, а также открытие радия, а в области теории революционная идея Макса Планка о прерывистом характере теплового излучения.

Новые мысли высказывали многие.

Еще в 1895 году голландский физик Г. Лоренц, пытаясь объяснить результат опыта Майкельсона и опираясь на идеи английского исследователя Физджеральда, высказал предположение о том, что быстродвижущиеся тела испытывают сокращение в направлении своего движения. Впоследствии это явление получило название «Лоренцова сокращения».

Для математического описания этого явления Лоренц изобрел преобразование, которое через несколько лет стало важной составной частью теории относительности и получило имя своего изобретателя.

Аналогичное преобразование нащупал и выдающийся русский физик Умов.

Апри Пуанкаре на основании опыта Майкельсона высказал предположение о предельном характере скорости света.

Но Лоренц в своих работах интересовался только электрическими явлениями. А Пуанкаре вполне допускал, что результат опыта Майкельсона может быть опровергнут последующими измерениями, да и вообще занимался главным образом математической стороной дела.

Впрочем, Пуанкаре, блестящий исследователь, талантливый математик и физик, глубокий, гибкий и смелый ум, ученый, способный к широким обобщениям, был очень близок к созданию теории относительности. Но ему помешали его философские воззрения. Пуанкаре считал, что математика и геометрия свободны от опыта, что любая область явлений может быть описана бесчисленным множеством различных эквивалентных друг другу логически безупречных теорий. К тому же Пуанкаре придерживался той точки зрения, что человеческий ум должен стремиться к освобождению от «тирании внешнего мира». Поэтому среди различных теорий ученый выбирает ту, которая представляется ему наиболее удобной. И Пуанкаре, стоявший буквально «на пороге» теории относительности, так и не сделал решающего шага. И, скорее всего, не сделал именно потому, что этот шаг, по его мнению, должен был привести отнюдь не к самой «удобной» теории.

Однако при этом Пуанкаре упускал самое главное: то, что решающее значение имеет не удобство научной теории, а ее соответствие реальной действительности.

Чтобы объединить все новые идеи и факты в единую физико-математическую теорию, надо было не только решиться поднять руку на традиционные научные представления и на здравый смысл, но и увидеть за новыми удивительными фактами действительные свойства реального мира.

Человеком, способным выполнить эту задачу, оказался Альберт Эйнштейн (1879 — 1955).

Можно не сомневаться в том, что, не будь Эйнштейна, теория относительности все равно появилась бы. Наш век породил немало блестящих физиков-теоретиков. Но в этот период всеми необходимыми качествами для разработки принципиально новой революционной физической теории обладал именно Эйнштейн. Определенную роль, разумеется, сыграли не только личные особенности и оригинальный талант ученого, но и благоприятное стечение обстоятельств.

Интерес к познанию природы проявился у будущего

«великого преобразователя естествознания», как назвал его В. И. Ленин, еще в детстве.

Мальчику было всего около пяти лет, когда его поразило поведение магнитной стрелки компаса, которая поворачивалась как бы сама собой, а не вследствие прямого воздействия.

— Я помню еще и сейчас, — или мне кажется, что я помню, — что этот случай произвел на меня глубокое и длительное впечатление, — рассказывал Эйнштейн уже в зрелом возрасте. — За вещами должно быть что-то еще, глубоко скрытое.

Ценнейшее качество исследователя — уметь видеть в обычном необычное. А для этого он, как это ни покажется странным, должен обладать способностью удивляться. Эта способность, по мнению известного советского физика академика Мигдала, необходима физику или математику не меньше, чем художнику или поэту.

Не зря Альберт Эйнштейн не раз подчеркивал, что ему посчастливилось повзрослеть, прежде чем он потерял способность удивляться.

Случай с компасом уже с детства подтолкнул Эйнштейна к размышлениям о «пустом» пространстве и его скрытых свойствах. И, возможно, впоследствии, при создании общей теории относительности, сказались и эти детские переживания.

Но, может быть, самую важную роль в выборе Эйнштейном своего научного пути сыграл учебник геометрии, с которым он познакомился в двенадцатилетнем возрасте:

— Я пережил еще одно чудо, — вспоминал Эйнштейн. — Источником его была книжечка по эвклидовой геометрии на плоскости.

Вскоре Эйнштейн заинтересовался и научно-популярной литературой и, благодаря этому, познакомился с многими животрепещущими проблемами естествознания того времени.

Существенную роль в формировании Эйнштейна как ученого и мыслителя несомненно сыграл и рано проявившийся интерес к философским проблемам и связанное с этим самостоятельное ознакомление с трудами многих выдающихся философов.

— Я скорее философ, чем физик, — неоднократно говорил Эйнштейн своему ближайшему сотруднику Леопольду Инфельду.

Уже с шестнадцати лет он начал задумываться над вопросом о скорости распространения света, а затем и над результатами опыта Майкельсона.

— Нет сомнения, — писал впоследствии Эйнштейн Бернарду Джеффу, — что опыт Майкельсона оказал значительное влияние на мою работу, поскольку он укрепил мою уверенность в правильности принципа специальной теории относительности. С другой стороны, я был почти полностью убежден в правильности этого принципа еще до того, как узнал об эксперименте и его результате.

Решающим и одним из наиболее плодотворных периодов в жизни Эйнштейна было время, когда, окончив Цюрихский политехникум, он устроился на работу в Берн в качестве технического эксперта патентного бюро.

«Составление патентных формул, — писал он спустя много лет, — было для меня благословением. Оно заставляло много думать о физике и давало для этого повод. Кроме того, практическая профессия — вообще спасение для таких людей, как я: академическое поприще принуждает молодого человека непрерывно давать научную продукцию, и лишь сильные натуры могут при этом противостоять соблазну поверхностного анализа».

В 1905 году Эйнштейн опубликовал несколько статей в журнале «Анналы физики». В одной из них и была изложена частная, или специальная, теория относительности.

В основу этой теории Эйнштейн положил два фундаментальных постулата: принцип независимости скорости света от движения источника и утверждение о том, что все без исключения физические явления протекают совершенно одинаково во всех системах, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно.

Любопытно, что оба этих положения являются обобщением научных фактов, которые были известны и ранее — принципа относительности Галилея¹ и результата опыта Майкельсона.

Факты-то сами по себе были известны, но им придавалось ограниченное значение, и до Эйнштейна никто не решился принять их в качестве основополагающих, уни-

¹ Согласно Галилею все механические явления во всех системах, движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга, происходят одинаково.

версальных постулатов и построить на этом всеобъемлющую теорию.

Специальная теория относительности — это не только теория быстрых движений, позволяющая рассчитывать явления, происходящие при околосветовых скоростях. Это, по существу, принципиально новый взгляд на мир, резко отличающийся от классических представлений.

После появления теории Эйнштейна стало ясно, что окружающая природа устроена далеко не так просто, как кажется, что реальные явления могут противоречить нашим привычным представлениям.

Например, оказалось, что такие фундаментальные физические характеристики, как «масса», «длина» и «длительность», казавшиеся абсолютными и неизменными, в действительности относительны. С увеличением скорости движения масса любого тела растет, длины укорачиваются, а течение времени замедляется. Масса какого-нибудь протона, летящего со скоростью, приближающейся к световой, может, в принципе, превзойти массу целой галактики. Более того, выяснилось, что одни и те же физические процессы могут в одно и то же время протекать по-разному в зависимости от условий, в которых находится наблюдатель.

Специальная теория относительности была принципиально важным шагом в понимании свойств пространства и времени.

— Отныне пространство само по себе и время само по себе должны стать тенью и только особого рода их сочетание сохранит самостоятельность, — заявил известный математик Герман Минковский, лекции которого в свое время посещал студент Эйнштейн.

Минковский предложил использовать для математического выражения зависимости пространства и времени геометрическую модель — четырехмерное пространство-время. В этом пространстве по трем основным осям откладываются, как обычно, интервалы длины, по четвертой же оси — интервалы времени.

Разумеется, никакого четвертого пространственного измерения в нашем мире не существует. И все же было бы неверно думать, что четырехмерное пространство-время теории относительности — всего лишь формальный математический прием, позволяющий удобно описывать определенные физические процессы. Четырех-

мерное пространство-время отражает глубокие реальные связи между пространством и временем.

И поскольку это так, свойства четырехмерного пространства-времени нельзя не принимать во внимание при решении вопроса о пространственной бесконечности Вселенной.

Создание специальной теории относительности явилось революцией в физике, не меньшей по своему значению, чем коперниковская революция в астрономии.

Надо было обладать огромной научной смелостью и богатейшим воображением, чтобы не только усомниться в наиболее фундаментальных основах физики того времени, но и предложить принципиально новую теорию, не только опровергающую всеобщность и непогрешимость этих представлений, но и противоречащую обыденному здравому смыслу.

Видимо, уже при разработке специальной теории относительности существенную роль сыграл один из методических принципов Эйнштейна, которым он неизменно руководствовался до конца своих дней.

Это — «принцип постоянного сомнения». Великий физик был непримиримым противником всякого самодовольства и кичливости в вопросах научного познания, он всегда восставал против некритической веры в достижение «окончательных» результатов исследования природы.

«Им кажется, что я в таком удовлетворении взираю на итог своей жизни,— писал Эйнштейн вскоре после своего семидесятилетия 28 марта 1949 года другу своей юности Соло.— Но вблизи все выглядит совсем иначе. Там нет ни одного понятия, относительно которого я был бы уверен, что оно останется неизменным, и я не убежден, пахожусь, ли вообще на правильном пути...»

Он также любил говорить:

— Всякий, кто попытается выступить в качестве авторитета в области Истины и Познания, потерпит жалкое фиаско под хохот богов.

Далеко не каждый исследователь природы в состоянии следовать этим мудрым принципам.

— Мало кто способен невозмутимо высказывать мнения, идущие вразрез с предрассудками окружающей среды,— был один из афоризмов Эйнштейна.— Большинство даже неспособно вообще прийти к таким мнениям.

Сам Эйнштейн обладал обеими этими способностями в полной мере.

И еще одна немаловажная черта Эйнштейна-исследователя. В отличие от многих физиков, целиком живущих в мире своих идей и порой не замечающих окружающего, он любил и понимал природу и умел ею наслаждаться. И удивлялся отсутствию этих качеств у других ученых.

— Мы провели вместе с семьей Кюри несколько дней отпуска в Энгодине, — рассказывал он, — но мадам Кюри ни разу не услышала, как поют птицы.

Значительное место в жизни великого физика занимала и музыка, любовь к которой он унаследовал от своей матери.

Должно быть, способность на время отвлекаться от очередных научных проблем, предоставляя тем самым свободу для плодотворной работы подсознания, так же необходима теоретику, как и умение сосредоточиваться на решении той или иной задачи, отрешаясь от всего окружающего.

Разумеется, все это лишь отдельные штрихи, не способные в полной мере воссоздать образ великого ученого. Но они, быть может, в какой-то мере поясняют, почему именно Эйнштейну оказалась по плечу грандиозная задача построения новой физики.

Изучение свойств пространства-времени стало одним из тех звеньев, которые привели Эйнштейна к созданию еще одной принципиально новой теории, получившей название общей теории относительности, теории, которая, по существу, занимается изучением геометрических свойств Вселенной.

Работа Эйнштейна «Основы общей теории относительности» объемом всего около 50 страниц была напечатана в начале 1916 года в «Анналах физики».

Это исследование по праву считается вершиной научной мысли физики первой половины XX века.

Хотя специальная и общая теория относительности и занимаются, казалось бы, различными вопросами, в идейном отношении в них много сходного.

Подобно специальной, общая теория относительности разрушает привычные классические представления об абсолютном характере некоторых фундаментальных физических понятий — на этот раз пространства и времени.

Однажды какой-то газетный репортер обратился к Эйнштейну с просьбой изложить суть его теории в одной фразе и так, чтобы это было понятно широкой публике.

— Раньше полагали, — немного подумав, ответил Эйнштейн, — что если бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы; теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы также пространство и время.

Между двумя теориями, о которых идет речь, есть и другое сходство: в основу общей теории относительности тоже положен некий исходный постулат, представляющий собой обобщение известного экспериментального факта — равенства гравитационной и инертной массы любого тела¹.

Этот факт был обобщен Эйнштейном в так называемый «принцип эквивалентности»: «невозможно отличить силу тяжести от силы инерции». А следовательно, движение в поле тяготения — равносильно свободному движению по инерции.

Если специальная теория относительности описывает физические процессы, протекающие в системах отсчета, движущихся относительно друг друга только равномерно и прямолинейно, то общая теория относительности снимает это ограничение. Ее уравнения справедливы и для систем отсчета, движущихся с ускорением.

На первый взгляд может показаться, что в основном исходном утверждении общей теории относительности заключено противоречие. Ведь хорошо известно, что движение по инерции — равномерно и прямолинейно, а движение под действием силы тяготения — ускоренно.

Да, с точки зрения классической физики все так и есть. Но дело в том, что согласно общей теории относительности все события, в том числе и движение тел, происходят не в обычном евклидовом пространстве, а в искривленном пространстве-времени.

Любое материальное тело не просто находится в пространстве, но определяет его геометрические свойства;

¹ Гравитационная масса — масса, создающая поле тяготения данного тела. Понятие инертной массы, которую иногда называют «мерой инертности», следует из второго закона Ньютона: от величины инертной массы зависит, какая сила должна быть приложена к данному телу, чтобы сообщить ему определенное ускорение.

которые зависят, таким образом, от распределения масс. Вблизи любых тел пространство искривляется. Благодаря этому лучи света распространяются во Вселенной не по прямым, а по изогнутым линиям. В повседневной жизни мы этого практически не ощущаем, поскольку нам обычно приходится иметь дело со сравнительно небольшими расстояниями и незначительными массами. Однако при переходе к космическим масштабам и гигантским скоплениям вещества искривленность пространства приобретает существенное значение.

— Гравитационное поле, — говорил Эйнштейн, — полностью определяется массами тел.

При этом связь между веществом и свойствами пространства-времени не односторонняя, а взаимная.

«Массы определяют геометрические свойства пространства и времени, — замечает академик В. А. Фок, — а эти свойства определяют движение масс».

«Общая теория относительности, — подчеркивают Я. Зельдович и И. Новиков, — описывает тяготение как воздействие масс на свойства пространства и времени. В свою очередь, эти свойства пространства и времени влияют на движение тел и другие физические процессы».

В 1917 году А. Эйнштейн сделал первую попытку применить общую теорию относительности для описания пространственно-временной структуры Вселенной. Эта работа ознаменовала собой рождение новой области науки — релятивистской космологии.

Тем самым еще раз, но теперь на совершенно новой основе, была поставлена проблема бесконечности Вселенной. И в этой постановке она стала одной из грандиознейших проблем современного естествознания, затрагивающей не только самые глубокие закономерности окружающего нас мира, но и наиболее принципиальные вопросы познания природы человеком.

В основе ньютоновской космологии лежали три фундаментальных положения: о стационарности и однородности Вселенной и эвклидовости пространства. Вселенная Эйнштейна, модель которой была построена великим физиком в 1917 году на основе общей теории относительности, связана с отказом от эвклидовости пространства.

Пространство Вселенной Эйнштейна — это трехмерная замкнутая в себе и в то же время неограниченная сфера.

В релятивистской космологии пространство обычно

рассматривается как метрическое пространство, то есть многообразие, между элементами которого определено отношение расстояния.

В обычном евклидовом пространстве любая прямая, продолженная неограниченно, является бесконечной. Но в искривленных пространствах бесконечность и неограниченность — не одно и то же. Строго говоря, различие между бесконечностью и неограниченностью существует и в евклидовом пространстве — бесконечность — свойство метрическое, это количественная характеристика, а неограниченность относится к структурным, так называемым топологическим свойствам пространства.

Но в искривленном пространстве это различие становится особенно ощутимым. Такое пространство может быть неограниченным, то есть не имеющим «края», границы, и в то же время конечным, то есть замкнутым в себе.

— При распространении пространственных построений в направлении неизмеримо большего, — отмечал Бернгард Риман, впервые разработавший математическую модель таких пространств, — следует различать свойства неограниченности и бесконечности: первое из них есть свойство протяженности, второе — метрическое свойство.

— Что мы хотим выразить, — писал Эйнштейн, обладавший счастливым умением с помощью наглядных образов выражать самые абстрактные идеи, — говоря, что наше пространство бесконечно? Ничего другого, как то, что мы можем прикладывать одно к другому равные тела в каком угодно числе и при этом никогда не наполним пространство. Если мы представим себе много равных кубических ящиков, то мы согласно евклидовой геометрии помещая их один на другой, один возле другого и один за другим, можем заполнить произвольно большую часть пространства, но такое построение никогда не кончится, всегда останется место, чтобы прибавить еще кубик. Вот что мы хотим выразить, говоря, что пространство бесконечно.

В качестве примера неограниченного и в то же время конечного пространства можно привести поверхность обычного трехмерного шара. Вообразим некое двумерное существо, скажем, предельно плоского муравья, живущего в этой поверхности. Передвигаясь по ней, он нигде не наткнется ни на какие границы. И в этом смысле по-

верхность шара неограниченна. Но если радиус шара конечен, то и площадь его поверхности тоже имеет конечную величину.

Представить себе трехмерную сферу так же трудно, как трудно было бы воображаемым плоским существам, живущим на шаровой поверхности, представить себе двумерную сферу. Ведь, хотя такая сфера и обладает двумя измерениями, она изогнута в трехмерном пространстве.

Что же касается ньютоновских постулатов однородности пространства и времени, то эйнштейновская космология не только принимала их в качестве исходного положения, но и накладывала еще более жесткое ограничение — требование изотропии. Эти постулаты получили наименование «космологического принципа».

Другая формулировка космологического принципа состоит в том, что средние значения всех физических величин по достаточно большому объему одинаковы для любых частей Вселенной.

— Вообразим, что мы разбили Вселенную на множество таких «элементарных» областей, что каждая из них содержит большое количество галактик, — говорит А. Зельманов. — Тогда однородность и изотропия означают, что свойства и поведение Вселенной в каждую эпоху одинаковы во всех достаточно больших областях и по всем направлениям. А одним из важнейших свойств однородного изотропного пространства является его постоянная кривизна.

Таким образом, эйнштейновская космология была космологией однородной и изотропной Вселенной.

Она, подобно классической физике, описывала стационарную Вселенную, то есть такую Вселенную, которая с течением времени не только не меняется в общих чертах, но в которой вообще нет каких-либо движений достаточно крупного масштаба и средняя плотность вещества не изменяется со временем.

Итак, Вселенная Эйнштейна обладает конечным объемом, но вместе с тем она не меняется со временем — ее возраст бесконечен.

Вот тогда-то новый остролюб добавил к старицкой эпиграмме, о которой мы упоминали, еще две строки:

Но сатана недолго ждал реванша:

Пришел Эйнштейн — и стало все, как раньше.

Разумеется, здесь верно лишь то, что от классических представлений о пространстве пришлось отказаться. Но это вовсе не означает, что теория относительности вернула науку к доньютоновским, аристотелевским временам. Новая физика явилась очередным шагом к еще более глубокому пониманию строения мира.

Разумеется, пространственная конечность первой космологической модели Вселенной не могла служить доказательством конечности реального пространства. Но сам Эйнштейн считал эту возможность наиболее разумной.

И все же модель — это всего лишь модель. Ответить на вопрос, в каком пространстве мы живем — эвклидовом или искривленном, — могут только наблюдения. И, в принципе, такая возможность существует.

Например, плоские обитатели двухмерной сферы могли бы установить, что живут на шарообразной поверхности, определив, что в их мире сумма углов любого треугольника больше 180° .

Мы тоже можем путем наблюдений определить величину радиуса кривизны Вселенной. Но технически это пока неосуществимо, так как для решения подобной задачи необходимо с очень большой точностью измерить огромные расстояния порядка миллиардов световых лет.

Так, благодаря созданию общей теории относительности был совершен новый весьма существенный шаг к пониманию геометрических свойств реального мира.

Стало ясно, что эта проблема значительно шире, чем просто вопрос о конечности или бесконечности пространства. Геометрия мира непосредственно связана с распределением материи. И чтобы в ней разобраться, необходимо изучить распределение и свойства различных космических объектов.

Стационарная космологическая модель Эйнштейна была первым шагом на этом новом пути.

Но только первым шагом. Очень скоро выяснилось, что реальная Вселенная — нестационарна.

Вселенная расширяется

В один из летних месяцев 1922 года в берлинском физическом журнале появилась небольшая статья никому не известного ленинградского математика Александра Александровича Фридмана (1888 — 1925).

Статья называлась «О кривизне пространства» и была посвящена анализу уравнений общей теории относительности.

Фридману удалось обнаружить совершенно неожиданный факт: оказалось, что эти уравнения имеют не только статические, но и нестатические решения, то есть такие решения, которым соответствуют нестационарные — расширяющиеся или сжимающиеся однородные изотропные модели Вселенной.

Согласно выводу Фридмана, «непустая», заполненная материей, Вселенная должна либо расширяться, либо сжиматься, а кривизна пространства и плотность вещества при этом соответственно уменьшаться или увеличиваться.

Александр Фридман не был физиком-теоретиком. По терминологии, принятой в наше время, его специальностью была математическая физика — он занимался изучением динамики метеорологических явлений.

Течение атмосферных процессов зависит от множества различных причин, и поэтому системы дифференциальных уравнений, с помощью которых их описывают, чрезвычайно сложны. Запимаясь изучением таких систем, Фридман, увлекшийся динамической метеорологией, еще в бытность студентом физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета накопил огромный опыт.

Эти занятия помогли ему выработать и еще одно ценнейшее качество исследователя природы: Фридман не просто производил математические выкладки, он всегда стремился распознать за формулами реальные физические явления.

— Александр Александрович Фридман имел редкие способности к математике, — вспоминает профессор А. Ф. Гаврилов, — однако изучение одного только математического мира чисел, пространства и функциональных соотношений в них его не удовлетворяло. Ему было мало и того мира, который изучался теоретической и математической физикой. Его идеалом было наблюдать реальный мир и создавать математический аппарат, который позволил бы формулировать с должной общностью и глубиной законы физики и затем, уже без наблюдения, предсказывать новые законы.

Счастливым сочетанием качеств ученого-исследователя, которое и позволило Фридману сделать чрезвычайно важный шаг в познании картины Вселенной.

Но известность и авторитет в науке тоже играют немаловажную роль. Особенно в тех случаях, когда никому не ведомый молодой исследователь посягает на мнение признанных корифеев. В свое время действие этого фактора испытал на себе и сам Эйнштейн. Теперь же, став известнейшим автором двух великих физических теорий, он, в свою очередь, недооценил результаты, полученные Фридманом.

Трудно сказать, проверял ли Эйнштейн выводы Фридмана с карандашом в руках. Скорее всего, бегло. Должно быть, великий физик положился на интуицию, а она подсказывала, что ничего подобного не может быть: ведь нестационарная Вселенная Фридмана противоречила его собственной стационарной модели.

Но как бы там ни было, Эйнштейн, ознакомившись со статьей Фридмана, поместил в очередном номере «Физического журнала» коротенькое замечание, в котором категорически заявлял, что результаты Фридмана вызывают серьезные сомнения и скорее всего неверны.

Прочитав это, Фридман написал Эйнштейну подробное письмо, в котором обстоятельно излагал существо своей работы. На этот раз великий физик проверил все с особенной тщательностью и к своему удивлению пришел к выводу, что... Фридман совершенно прав.

Возможно, другой на его месте из принципа продолжал бы отстаивать свое первоначальное мнение или, в лучшем случае, просто промолчал. Но Эйнштейну была абсолютно чужда какая бы то ни было амбиция, увы, нередко застилающая глаза маститым ученым. Самой главной целью его жизни было познание реальной природы, и потому он никогда не упорствовал в своих ошибках. Не имело значения, что ошибся он сам, было гораздо важнее, что ошибка исправлена и тем самым внесено что-то новое в наши знания о мире.

И 13 мая 1923 года в редакцию «Физического журнала» поступило письмо Эйнштейна, которое и было вскоре опубликовано под заголовком «Заметка о работе А. Фридмана о кривизне пространства».

«В предыдущей заметке я критиковал названную работу, — писал Эйнштейн. — Однако моя критика, как я

убедился из письма Фридмана, основывалась на ошибках в вычислениях.

Я считаю результаты Фридмана правильными и проливающими новый свет. Оказывается, что уравнения поля допускают наряду со статическими также и динамические (т. е. переменные относительно времени) центрально-симметричные решения для структуры пространства».

Любопытно: как выяснилось позднее, и статическая модель Эйнштейна тоже неизбежно переходит в нестационарную. Но это означало, что однородная изотропная Вселенная должна обязательно либо расширяться, либо сжиматься.

Физикам и астрономам стало ясно, что уравнения Эйнштейна имеют решения, описывающие мир, геометрия которого меняется с течением времени. При расширении средняя плотность вещества постепенно убывает, а следовательно, меняется и кривизна пространства.

Приверженность А. Эйнштейна к модели стационарной Вселенной, мешавшая ему разглядеть столь важное свойство выведенных им же самим уравнений, имела свои объективные причины. Идея стационарности была в то время чем-то само собой разумеющимся. С одной стороны, она опиралась на представления о так называемых «неподвижных» звездах¹, а с другой — на все еще существовавшую веру человечества в стабильность мирового порядка.

Таким образом, заслуга Фридмана состояла не только в том, что ему удалось преодолеть предвзятую точку зрения создателя теории относительности, но прежде всего в том, что он сумел отказаться от традиционного взгляда на мир.

Независимо от теоретических исследований Фридмана, американский астроном Слайфер обнаружил в спектрах галактик «красное смещение». Подобное явление, известное в физике под названием эффекта Доплера, наблюдается в тех случаях, когда расстояние между источником света и приемником увеличивается.

Вообще эффект Доплера сопутствует любому волновому процессу, в частности, распространению звуковых колебаний. Вероятно, каждый не раз отмечал, что звук

¹ Далекие звезды, которые благодаря огромным расстояниям от Земли кажутся земному наблюдателю неподвижными друг относительно друга.

свистка приближающегося электровоза резко понижается, как только, промчавшись мимо, он начинает быстро удаляться.

В оптических спектрах эффект Доплера вызывает смещение спектральных линий. При сближении с источником воспринимаемая частота колебаний возрастает и линии смещаются к фиолетовому концу спектра. Когда же расстояние до источника растет, частота уменьшается и происходит сдвиг линий в сторону более низких частот — к красному концу спектра. Это и есть «красное смещение». Его величина пропорциональна скорости удаления.

Через несколько лет после открытия Слайфера другой американский астроном Хаббл выяснил, что чем дальше расположена от нас галактика, тем сильнее сдвиг линий в ее спектре. Мало того, обнаружилась почти пропорциональная зависимость между расстояниями и величиной красного смещения.

С точки зрения принципа Доплера это означает, что все галактики удаляются и чем дальше расположена та или иная галактика, тем быстрее она движется.

На основании картины движения галактик, полученной в результате объяснения красного смещения с помощью эффекта Доплера, физики и астрофизики разработали теорию «расширяющейся Вселенной», согласно которой несколько миллиардов лет назад материя Вселенной была сосредоточена в сравнительно небольшом объеме, где она находилась в состоянии сверхчудовищной, может быть, бесконечно большой плотности. Затем по неизвестной причине началось расширение этого объема, своеобразный космический взрыв, в результате которого в конечном итоге образовались космические объекты — звезды, галактики, планетные системы. Расширение продолжается и по сей день. В каждый данный момент Вселенная обладает конечным объемом, радиус которого все время возрастает.

Что же касается кривизны пространства, то в случае расширяющейся Вселенной она оказывается непосредственно связанной со значением средней плотности материи и так называемой постоянной Хаббла, показывающей зависимость скорости разбегания галактик от расстояния.

Кроме того, средняя плотность материи в однородной Вселенной Фридмана определяет не только ее геометрию, но и ее будущее.

Подсчеты показывают: при средней плотности вещества, превосходящей $6 \cdot 10^{-29}$ граммов на кубический сантиметр, что соответствует 10 атомам водорода в каждом кубическом метре, пространство замкнуто и конечно. А расширение замкнутого сферического неевклидова трехмерного мира должно быть рано или поздно остановлено тяготением и перейти в сжатие.

Если средняя плотность в точности равна критической — этот случай был подробно рассмотрен в 1932 году Эйнштейном и де Ситтером, — расширение Вселенной происходит неограниченно, а ее пространство является эвклидовым и бесконечным.

Наконец, при плотности, меньше критической, пространство тоже бесконечно, но является уже не эвклидовым, а пространством Лобачевского.

Однако это лишь различные теоретические возможности. А как определить среднюю плотность всех существующих форм материи: звезд, межзвездного водорода, электромагнитного излучения, потоков «неуловимых» частиц нейтрино, межгалактического газа, который главным образом состоит из водорода и гелия, и так далее...

Задача весьма непростая, если учесть, что за этим «и так далее» скрываются такие виды материи, которые трудно наблюдаемы, а кроме того, могут в принципе существовать и такие ее формы, о которых мы вообще не имеем пока ни малейшего представления. А это значит, что по крайней мере при современном уровне знаний о Вселенной, у нас нет достаточных оснований для того, чтобы отдать предпочтение одной из существующих возможностей. Чтобы сделать такой выбор, необходимо располагать гораздо более точными оценками средней плотности материи в космических масштабах.

Но все обстоит еще сложнее.

Как мы уже говорили, теория относительности рассматривает пространство и время как единое образование, так называемое пространство-время, в котором временная координата играет столь же существенную роль, что и пространственные. Таким образом, в самом общем случае мы с точки зрения теории относительности можем говорить лишь о конечности или бесконечности именно этого объединенного пространства-времени. Но тогда мы вступаем в так называемый четырехмерный мир, обладающий совершенно особыми геометрическими свойствами, самым

существенным образом отличающимися от геометрических свойств того трехмерного мира, в котором мы живем.

И бесконечность или конечность четырехмерного пространства-времени еще ничего или почти ничего не говорит об интересующей нас пространственной бесконечности Вселенной. Еще А. Фридман показал, что в рамках теории относительности раздельная постановка вопроса о пространственной и временной бесконечности Вселенной возможна не всегда, а только при определенных условиях. Этими условиями являются однородность и изотропность. Только в случае однородности и изотропности единое пространство-время расщепляется на «однородное пространство» и универсальное «мировое время».

Но вернемся к развитию Метагалактики во времени. Каково бы ни было с точки зрения теории расширяющейся Вселенной ее будущее, в отдаленном прошлом материя в нашей области пространства должна была находиться в качественно ином состоянии, чем в настоящее время. Что же оно собой представляло?

Одну из первых попыток дать ответ на этот бесспорно волнующий вопрос предпринял в 1931 году профессор Лувенского университета в Бельгии Жорж Леметр. Еще в 20-е годы он изучал астрофизику в Кембридже и Мас-сачусетском технологическом институте, а затем сам стал преподавать астрономию. Леметр был бесспорно выдающимся ученым, отлично владеющим математикой, он опубликовал свыше 70 научных работ.

Но вместе с тем Леметр посил сап католического аббата, а в последние годы своей жизни занимал весьма почетный в церковной иерархии пост президента Ватиканской академии наук.

Основываясь на фридмановской модели расширяющейся Вселенной, Леметр выдвинул идею «большого взрыва» первичного сгустка материи, сосредоточенной в нуль-пункте пространства и времени.

Трудно сказать, в какой степени сказались при разработке этой теории религиозные воззрения Леметра. Если судить по его собственным словам, за своим письменным столом он был только естествоиспытателем.

— Моя теория, насколько я могу судить, полностью оставляет в стороне любой религиозный вопрос, — не раз говорил Леметр, — она является чисто физической и не

апеллирует ни к каким силам, которые не были бы нам известны.

И добавлял:

— Для верующего снимается любая попытка сближаться с господом.

Но, должно быть, духовный сан Леметра вдохновил некоторых других теологов и богословов. Во всяком случае многие из них, ухватившись за внешнюю сторону его теории, пытались сделать из нее религиозные выводы.

Этого прямо требовало и верховное руководство католической церкви.

«Итак, сотворение мира во времени — и потому есть творец, следовательно, есть бог; вот те сведения, которых мы требуем от науки», — эти слова принадлежат главе католической церкви папе Пию XII и были произнесены в ноябре 1951 года.

И теоретики религии стараются выполнить указание своего духовного главы: они пытаются связать взрыв, который привел к образованию Метагалактики, с актом божественного творения Вселенной.

«Космос... имеет историю, которую можно проследить вплоть до самого начала, — утверждает западногерманский католический теолог Марсель Рединг, — начала, совпадающего с возникновением «пространства-времени».

И хотя слово «бог» здесь явно не произносится, цель подобных рассуждений — подвести к выводу о божественном творении. Об этом прямо заявляет другой католический теолог П. Тиволье. Комментируя теорию расширяющейся Вселенной, он без всяких обиняков делает заключение: «Вселенную создал бог...»

Другие богословы, пытаясь использовать в своих интересах теорию расширяющейся Вселенной, действуют несколько более тонко. Вот так, например, делает это современный французский католический теолог Клод Трмонтан.

То обстоятельство, что Вселенная находится в состоянии непрерывной эволюции, утверждает он, что в ней непрестанно возникают новые структуры, неоспоримо и неопровержимо свидетельствует о продолжающемся творении, о том, что все в мире находится в состоянии непрерывного изобретения высшей сверхъестественной силой — богом.

А в действительности? Дают ли современная астрономия и астрофизика хотя бы какие-либо основания для подобных выводов?

Одной из наиболее характерных особенностей современной астрофизики является ее эволюционный характер. Если раньше эта область науки о Вселенной в основном ограничивалась изучением физических свойств различных космических объектов, характеризующих главным образом их современное состояние, то сейчас на передний план выдвинулось изучение их истории, в первую очередь различных качественных превращений, при которых совершаются переходы материи из одних видов в другие.

Что же касается тех принципиально новых представлений о космических процессах, которые сложились в последние годы, то они представляют собой важный шаг к более глубокому пониманию сущности происходящих во Вселенной явлений.

И во всех этих новейших астрономических данных нет абсолютно ничего такого, что прямо или косвенно указывало бы на существование и деятельность сверхъестественных сил.

Вопрос, по существу, сводится к следующему: если действительно происходит творение, как об этом говорят богословы, то, следовательно, космические объекты возникают из ничего или, по крайней мере, сверхъестественным образом, то есть вопреки естественным законам природы.

Однако современная астрофизика не дает никаких поводов для подобных заключений. В процессе исследования эволюции различных космических объектов удается прослеживать последовательные стадии их развития. И в тех случаях, когда переход к новой стадии происходит плавно, и в тех, когда он совершается скачкообразно. И всегда это превращение одного вида материи в другой. Превращение, которое подчиняется вполне естественным закономерностям.

В духе материализма решается современной астрофизикой и «вопрос вопросов» — об «изначальном» материале Метагалактики. Что было в самом начале расширения и до него? Откуда взялось «то», что затем стало расширяться, те элементарные частицы, которые входили в состав первоначального сверхплотного плазменного сгустка?

Физика и астрофизика не допускают на этот счет никаких кривотолков в духе вмешательства «высшего разума» и «высшей воли». Хотя нельзя еще точно сказать, какая именно материальная форма предшествовала исходному сверхплотному сгустку, однако уже имеющихся в распоряжении науки данных вполне достаточно для принципиального вывода о том, что это была именно материальная форма. Более того, существуют и конкретные предположения на этот счет. Так, некоторые физики и астрофизики считают, что такой «изначальной формой» мог быть физический вакуум. Во всяком случае уже известно, что вакуум представляет собой особую форму материи, способную рождать частицы в полном соответствии с законом сохранения материи и движения.

Таким образом, современная астрофизика не только «нащупывает» все более ранние и скрытые формы материи, не только выявляет новые возможности их взаимопревращения, не только вскрывает все более глубокие естественные взаимосвязи между различными явлениями и сторонами материального мира, но и дает нам убедительные свидетельства его единства, отсутствия каких бы то ни было сверхъестественных сил, стоящих над материей.

Вернемся, однако, к истории развития «теории расширения». Ее популярность быстро росла. В известной степени способствовали этому общедоступные книги о расширении Вселенной, написанные сперва английским ученым Артуром Эдингтоном, а затем американским физиком Георгом Гамовым.

Гамов не просто популярно изложил известные вещи. Пытаясь решить проблему происхождения химических элементов, он в 1948 году построил свою собственную концепцию «горячей Вселенной». По его мысли, первичный сгусток вещества — илем — представлял собой массу водорода, сжатого до такой степени, что электроны были вдавлены в протоны, а образовавшиеся в результате нейтроны оказались спрессованными до предела при очень высокой температуре. Распад и последующее расширение илема, которое Гамов попытался проследить стадия за стадией, и привели к образованию Метагалактики. Отличительной особенностью гипотезы Гамова является предположение о том, что на начальном этапе расширения плотность излучения во много раз превосходила плот-

ность вещества. Вообще говоря, эта идея высказывалась и раньше, но только Гамов и его ученик Альфер осуществили серьезное физическое исследование подобной ситуации.

Согласно теории «горячей Вселенной», на одном из ранних этапов расширения должно было возникнуть коротковолновое электромагнитное излучение, постепенно заполнившее все мировое пространство.

Это излучение, названное реликтовым, было обнаружено американскими физиками А. Пенциасом и Р. Вилсоном в 1965 году. Открытие реликтового излучения стало очень важным экспериментальным подтверждением расширения Метагалактики.

Кó всему сказанному следует добавить: из общей теории относительности следует также, что геометрия пространства может меняться со временем еще и в результате распространения так называемых гравитационных волн, источниками которых могут служить колебания масс, космические взрывы и другие явления, происходящие в глубинах Вселенной.

Сейчас многие физики и астрофизики заняты поисками гравитационного излучения. Есть и сообщения о первых успехах. Но они еще нуждаются в тщательной и всесторонней проверке. И только после этого можно будет делать какие-либо определенные выводы.

Правда, гравитационные волны, если даже они и в самом деле существуют, несут с собой ничтожную энергию. Но доказательство самого факта их существования бесспорно имело бы принципиальное значение.

Развенчание парадоксов

Общая теория относительности и теория расширяющейся Вселенной были не только принципиально новым шагом в понимании геометрии мира. Они освободили космологию от назревавших в «классические времена» неразрешимых парадоксов, в чем-то напоминающих знаменитые парадоксы теории множеств.

Еще в конце прошлого столетия немецкий ученый Зеелигер пришел к довольно любопытному выводу, во-

шедшему в историю науки под названием «гравитационного парадокса».

Как известно, согласно закону всемирного тяготения Ньютона все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Но если Вселенная бесконечна и однородна, то, как следует из довольно простого подсчета, энергия взаимодействия любого тела со всеми остальными массами Вселенной окажется бесконечной, а сила его взаимодействия с этими массами — неопределенной.

Грубо говоря, в бесконечной Вселенной на каждую частицу должна действовать равнодействующая двух бесконечно больших сил притяжения. А разность двух бесконечностей и есть неопределенность.

Но, очевидно, в такой Вселенной не было бы никакой однозначности и, по существу, в ней не действовали бы никакие законы природы.

Однако ничего подобного в действительности не наблюдается.

Еще в XIX веке была предпринята попытка устранить гравитационный парадокс с помощью предположения о том, что ньютоновский закон тяготения справедлив лишь для сравнительно малых космических областей, а с увеличением масштаба сила тяготения ослабевает значительно быстрее, чем этого требует формула Ньютона. С этой целью к ней добавляли специальный дополнительный множитель.

Но все дело в том, что эта поправка к закону тяготения вводилась чисто умозрительно, без какого-либо экспериментального основания.

— Опыт показывает, — заметил по этому поводу известный советский физик Давид Альбертович Франк-Каменецкий, — что такая примитивная коррекция привычных представлений для применения к новой области никогда еще в истории науки не приводила к успеху.

Еще одно противоречие между реальным положением вещей и ньютоновской бесконечной однородной Вселенной с бесконечным количеством звезд подметил в свое время швейцарский астроном Жан Филипп Шезо.

— Если количество звезд во Вселенной бесконечно, — задумался Шезо, — то почему все небо не сверкает, как поверхность единой звезды?

Сам он паходил на этот вполне законный вопрос единственный ответ: скорее всего свет дальних звезд заслоняют от нас облака космической пыли.

Дальнейшая история этого знаменитого парадокса связана с именем астронома-любителя (что случается не так уж часто), богатого и преуспевающего бременского врача Генриха Ольберса.

Вновь поставив, и притом независимо от Шезо, волновавший швейцарского ученого вопрос о том, почему ночное небо черное, Ольберс пришел к выводу, что и пылевые облака не спасают положения.

Проблема, над которой размышляли Шезо и Ольберс, сыграла немалую роль в развитии научных представлений о Вселенной. Она вошла в историю астрономии под названием фотометрического парадокса. Состоит он, строго говоря, в следующем.

Если в бесконечной Вселенной равномерно рассеяны звезды, которые в среднем излучают приблизительно одинаковое количество света, то, независимо от того, сгруппированы они в галактики или нет, они должны покрыть своими дисками всю небесную сферу. И куда бы мы ни направили свой взор, он почти наверняка рано или поздно натолкнется на какую-нибудь звезду.

Известно, что интенсивность видимого света звезд уменьшается пропорционально квадрату расстояния. Но это уменьшение в такой же степени компенсируется увеличением числа звезд, попадающих в поле нашего зрения.

Иными словами, каждый участок звездного неба, казалось бы, должен светиться как участок диска Солнца. Со всех сторон на нас должен обрушиваться ослепительный жаркий поток света с температурой около 6 тысяч градусов, почти в 200 тысяч раз превосходящий поток солнечного света. Между тем ночное небо черное и холодное. В чем же тут дело?

Любопытно отметить, что еще Аристотель — об этом сообщает в своих «Диалогах» Джордано Бруно — описывал ситуацию, весьма сходную с фотометрическим парадоксом. Если бы мир был бесконечным, рассуждал Аристотель, то должны были бы существовать «бесконечные частные огни». И хотя каждый из них был бы конечным, тот огонь, который явился бы, в результате должен был быть бесконечным. Именно на этом основании Аристотель и приходил к заключению о конечности мира.

После изысканий Шезо и Ольберса, в соответствии с их первоначальной идеей, были предприняты довольно многочисленные попытки устранить фотометрический парадокс ссылкой на поглощение света рассеянной межзвездной материей. Но в 1973 году советский астроном академик Василий Григорьевич Фесенков показал, что и это не спасает положения. Межзвездная материя не столько поглощает свет звезд, сколько рассеивает его. Таким образом, ситуация оказалась еще более сложной.

Еще одна попытка устранить фотометрический, а заодно и гравитационный парадокс, была предпринята Шарлье, который выдвинул идею об иерархическом строении Вселенной. «Вселенная Шарлье» — это совокупность вложенных друг в друга систем все более высокого порядка: звезды — звездные скопления — скопления звездных скоплений и т. д. И чем выше порядок системы, тем сильнее она разрежена.

Такая схема действительно устраняла парадоксы, по картина Вселенной получалась при этом явно искусственной: в центре чрезвычайно плотное скопление звезд, а с увеличением расстояния звезд все меньше и меньше.

Наконец, третий парадокс возник при попытке применить к стационарной Вселенной законы термодинамики — науки о тепловых процессах. Поскольку такая Вселенная существует бесконечно долгое время, то в ней давно должно было бы наступить полное термодинамическое равновесие — «тепловая смерть». Все тепло должно было бы равномерно распределиться между всеми телами, и всякие тепловые процессы полностью прекратились бы.

Таким образом, два парадокса отрицали бесконечность однородной стационарной Вселенной в пространстве, а третий — ее бесконечность во времени.

Но если парадоксы теории множеств не получили своего решения и по сей день, то судьба космологических парадоксов оказалась совершенно иной.

С появлением общей теории относительности сам собой отпал гравитационный парадокс Зеелигера — в этой теории он просто не возникает.

В свою очередь, теория расширяющейся Вселенной наполовину «расправилась» с термодинамическим парадоксом. Если Метагалактика существует «всего» несколько миллиардов лет, то тепловое равновесие в ней просто еще не успело установиться. И хотя это соображение отнюдь

не снимает вопроса о «тепловой смерти» Вселенной вообще (в будущем), по отношению к прошлому оно устраняет все противоречия.

Что же касается будущего, то эту задачу исследовал американский физик Р. Толмен. Ему удалось показать, что благодаря наличию гравитации даже в конечной Вселенной не может существовать состояния с максимальной энтропией.

Примерно к такому же выводу с позиций статистической физики пришел и советский ученый профессор К. П. Станюкович.

Нашел себе объяснение в теории расширения Метагалактики и фотометрический парадокс. -

Поскольку галактики разбегаются, в их спектрах, как мы уже знаем, происходит красное смещение спектральных линий. В результате частота, а значит, энергия каждого фотона уменьшаются. Ведь красное смещение — это сдвиг электромагнитного излучения в сторону более длинных волн. А чем больше длина волны, тем меньшую энергию несет с собой излучение. И чем дальше галактика, тем больше красное смещение, а значит, тем сильнее ослабляется энергия каждого приходящего к нам фотона.

Помимо этого, непрерывное увеличение расстояния между Землей и удаляющейся галактикой приводит к тому, что каждый следующий фотон вынужден преодолевать несколько больший путь, чем предыдущий. По этой причине фотоны попадают в приемник реже, чем они испускаются источником. Следовательно, уменьшается и число приходящих в единицу времени фотонов, что также приводит к понижению количества приходящей в единицу времени энергии. Вследствие красного смещения происходит не только перемещение излучения в область более низких частот, но и ослабление его энергии.

Следовательно, красное смещение ослабляет излучение каждой галактики. И тем сильнее, чем дальше она от нас находится.

Именно поэтому ночное небо остается черным.

Таким образом, теория расширяющейся Вселенной, возникшая как одно из следствий общей теории относительности, явилась очередным шагом в познании Вселенной, в том числе ее геометрических свойств.

Но это был не просто новый вариант решения проблемы, а принципиально новый подход к ней. Если раньше

учоные искали окончательного ответа на вопрос о конечности или бесконечности Вселенной, исходя из тех или иных умозрительных или теоретических соображений, то теория расширяющейся Вселенной предоставила решение этого вопроса фактам, которые надо было получить в результате изучения реального мира.

Но и новая космология однородной изотропной расширяющейся Вселенной ставила вопрос о бесконечности по принципу «или — или...» Или Вселенная бесконечна, или — конечна. Одно исключает другое. И, следовательно, задача науки заключается в том, чтобы выяснить, какая из этих двух возможностей реализуется в природе.

Но уже А. Фридман понимал, что подобная постановка вопроса является сильно упрощенной, даже наивной.

Попытка реванша

Иногда пути развития науки причудливы и извилисты. И нередко бывает так, что, казалось бы, окончательно отвергнутые и уже полузабытые гипотезы и теории неожиданно оживают и вновь переходят в наступление.

Один из таких «поворотов» произошел вскоре после окончания второй мировой войны и в науке о Вселенной.

В 1948 году была предпринята попытка возродить стационарную космологию. Одним из ее авторов и вдохновителей был английский ученый Фред Хойл, широко известный не только своими выдающимися исследованиями в области теоретической астрофизики, но и весьма оригинальными научно-фантастическими романами.

Объединение, казалось бы, столь различных способностей в одном лице не так уж неожиданно: и научная фантастика, и современная космология требуют богатства воображения и дерзости мысли.

Во всяком случае идея, выдвинутая Хойлом, выглядела явно фантастически: Вселенная расширяется, но в то же время непрерывно пополняется веществом, в результате средняя плотность остается неизменной и стационарность не нарушается. За каждый миллиард лет объем пространства, равный одному кубическому метру, пополняется двумя атомами водорода.

Откуда же берется это новое вещество? Ответ Хойла был столь же прост, сколь и неожидан:

— Оно возникает из ничего...

А почему бы и нет? Разве нам все известно о законах движения материи?..

И все же — не мистика ли это? Как может вещество рождаться из «ничего»? А закон сохранения материи?

— Из ничего? — нашли выход сторонники стационарной космологии. — Но это не так. Вещество не творится, а рождается неизвестным нам полем. А поле — тоже есть материя.

— Правда, такие аргументы, — заметил по этому поводу академик Виталий Лазаревич Гинзбург, — очень уж напоминают рассуждения о «медиумической энергии», которые Лев Толстой поместил в «Плодах просвещения», издеваясь над псевдонаукой.

Впрочем, утверждение о непрерывном творении материи было всего лишь выводом из более общего принципа, который Хойл и его соавторы, сотрудники Кембриджского университета Гармен Бонди и Томас Голд, положили в основу стационарной космологии.

Принцип этот получил несколько претенциозное наименование «совершенного космологического принципа»: свойства Вселенной постоянны как в пространстве, так и во времени.

Однако интуиция подсказывала, что реальный мир не таков. И, видимо, потому идею стационарной Вселенной мало кто поддерживал.

— Думаю, справедливо будет сказать, что большинство ученых отвергают ее, — признавал один из сторонников стационарной Вселенной Д. Сиам. — Но некоторые видные специалисты считают стационарное состояние Вселенной настолько привлекательным, что предпочитают сохранять ум открытым до тех пор, пока не будут проведены решающие наблюдения.

Все верно: интуиция — интуицией, но необходимы факты. Какой бы неправдоподобной ни казалась идея непрерывного творения, опровергнуть ее можно только с помощью наблюдений.

— Я, как и большинство других физиков и астрономов, всегда относился к стационарной космологической модели, в которой допускается «рождение вещества», резко отрицательно, — вспоминает академик Гинзбург. — Но такие вопросы не решаются голосованием и в зависимости от вкусов или даже весьма обоснованных соображений

теоретического характера. Нужно признать, что мы опять приходим к универсальному для всего естествознания заключению — подлинным и безапелляционным судьей, решающим судьбы новых гипотез, являются опыт и наблюдения.

Так и получилось. Именно наблюдения произнесли свой окончательный приговор.

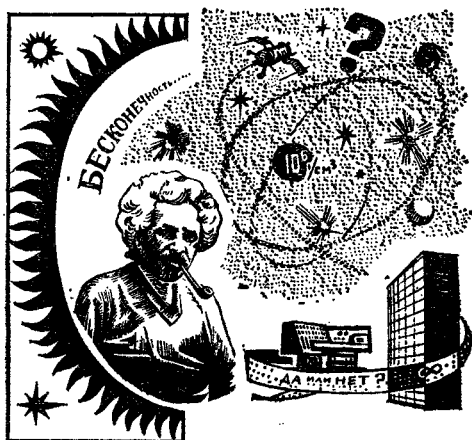
— Концепция стационарной Вселенной находится в противоречии с результатами подсчетов источников радиоизлучения, проведенных Райлом и Кларком. Их данные показывают, что или в прошлом радиоисточников было больше, или они были более мощны, или то и другое вместе.

Эти слова принадлежат самому Фреду Хойлу. Астрономические наблюдения убедительно показывают, что Вселенная с течением времени изменяется, миллиарды лет назад вещество находилось в ином состоянии, иным было количество космических объектов, иными были их свойства.

— В результате, — делает вывод академик Гинзбург, — стационарная космологическая модель может считаться опровергнутой или при очень придирчивом подходе почти что опровергнутой.

Недавно был получен результат, позволяющий качественно оценить величину средней плотности материи во Вселенной. Подсчеты показали, что средняя плотность материи в сверхгалактике по меньшей мере в два раза выше, чем в Метагалактике. Между тем наблюдения показывают, что темп расширения Сверхгалактики и Метагалактики (величина постоянной Хаббла) практически одинаковый. Выходит, что увеличение средней плотности в два раза никак не влияет на характер расширения; это может только означать, что эта плотность необычайно мала (видимо, значительно меньше критической). Если это так, то пространство Метагалактики незамкнуто и она расширяется неограниченно.





В НАШИ ДНИ

Новый этап

В наше время наука развивается не просто очень быстро, а с огромным ускорением. Специалисты называют впечатляющие цифры: за каждые десять лет объем научной информации, которой располагает человечество, увеличивается вдвое. Каждое очередное десятилетие в смысле познания природы приносит чуть ли не столько же, сколько все предшествующие века научных исследований, вместе взятые.

А это, в свою очередь, означает, что вчерашний день науки, какими бы поразительными ни были связанные с ним открытия, все стремительнее отодвигается в прошлое. Это особенно заметно в астрономии и физике.

И дело тут не только в том, что уже ушли из жизни многие выдающиеся умы — представители того поколения ученых, которое совершило величайшую революцию в физике на рубеже XIX и XX столетий: Эйнштейн, Бор,

Резерфорд, де Бройль, Паули и многие другие. Они свое дело сделали. А теперь наступает новый этап в познании мира.

И хотя еще не появилась новая «теория относительности», за последние годы мы узнали о Вселенной много такого, что еще и еще раз настойчиво приводит к одному и тому же фундаментальному выводу: нам известно немало, и все же те физические и космологические теории, которыми располагает современная наука, — только этап. Очередной шаг в познании бесконечно разнообразного мира. И предстоит совершить следующий, который потребует не только новых исследовательских усилий, но, быть может, и нового взгляда на мир.

Надо перестроить ряды, перегруппировать силы, подготовить себя к грядущим открытиям. Надо многое осмыслить, задуматься...

А задуматься есть над чем. Подтвердились многие предсказания, казалось бы, совершенно абстрактных астрофизических и космологических теорий. Было обнаружено реликтовое излучение, существование которого вытекало из теории расширяющейся Вселенной. Были открыты предсказанные более 30 лет назад физиками-теоретиками нейтронные звезды, в каждом кубическом сантиметре которых вмещается около 100 миллионов тонн вещества.

Эти и другие подобные открытия укрепили авторитет существующих теорий, подтвердили, что они верно отражают закономерности реального мира.

Но, с другой стороны, были обнаружены и такие явления, которые не только не находят себе объяснения в рамках существующих теорий, но с их точки зрения, пожалуй, вообще не должны были бы происходить. Расширяющиеся звездные скопления — звездные ассоциации, взрывающиеся галактики, вспышки красных карликов, источники чудовищной энергии — квазары.

— Если бы лет десять назад, — заметил московский астрофизик доктор физико-математических наук Игорь Дмитриевич Новиков, — какому-нибудь физiku описали свойства квазаров, он, не задумываясь, заявил бы, что такие объекты в природе вообще не могут существовать.

А квазары существуют. Существуют, но до сих пор не находят себе удовлетворительного объяснения.

Далеко не все проблемы решены и современной космологией.

— В настоящее время самая общая физическая теория — это общая теория относительности. Однако несмотря на свою логическую стройность и безупречность, эта теория не свободна от затруднений, — говорил с трибуны второго Всесоюзного совещания по философским вопросам современного естествознания А. Л. Зельманов. — Обычно думают, что тут нет никаких проблем. Это заблуждение. Проблемы есть. В частности, и такие, которые вообще заведомо не могут быть разрешены в рамках общей теории относительности. Это относится к области космологии. Вселенная в целом существует в единственном экземпляре. Поэтому любая конкретная космологическая теория не может давать для нее больше одной модели. Теория может вообще не давать модели, но уж если дает — она должна быть единственной. Общая теория относительности этому требованию не удовлетворяет, потому что ее основные уравнения — это дифференциальные уравнения, имеющие множество решений. Отсюда и множество моделей. Таким образом, общая теория относительности не настолько обща, чтобы правильно решить вопрос о модели Вселенной в целом. Моделей должно быть или ноль, или одна. Если две — это уже плохо, а их бесчисленное множество. Видимо, решение этой проблемы будет достигнуто лишь в более общей физической теории.

— Было бы ошибочным думать, — заметил в одном из своих выступлений академик В. Амбарцумян, — что мы уже знаем все об окружающем нас мире. Мир устроен совсем не так просто, как нам хочется. Он бесконечно разнообразен, и поэтому на каждом этапе развития науки наши знания представляют собой лишь определенную степень приближения к истинной его картине. Но всякий раз новые наблюдения расширяют эти представления. Так было и так будет всегда.

По мнению академика Амбарцумяна, в астрономии уже сейчас происходит революция.

Вторая половина XX столетия вооружила астрономию принципиально новыми методами исследования Вселенной от радиотелескопов до космических кораблей и автоматических межпланетных станций. Благодаря этому астрономия, которая до недавнего времени была исключительно оптической наукой и получала всю информацию о

Вселенной путем исследования светового излучения космических объектов, очень быстро становится всеволновой наукой. Соответственно неизмеримо расширился диапазон тех сведений, которые мы получаем о космических явлениях. Появилась возможность добывать уникальную информацию о физических процессах во Вселенной.

Не случайно многие известные физики проявляют все больший интерес к астрономии, как к источнику все новых и новых уникальных данных о фундаментальных закономерностях движения и строения материи. Они считают, что именно астрофизика рождает новую физику.

В частности, недавно умерший выдающийся советский физик академик Л. Арцимович прямо заявил в печати, что будущее в естествознании принадлежит астрофизике.

Изучение космических явлений уже привело к открытию целого ряда фактов, которые потребовали существенного пересмотра прежних представлений. Если в свое время считалось, что во Вселенной преобладают чрезвычайно медленные и плавные процессы, то теперь стало ясно, что многие фазы развития материи в космосе резко нестационарны и носят характер взрыва, дезинтеграции, рассеяния. И подобная нестационарность проявляется в космических явлениях самых различных масштабов.

Сегодня в центре внимания астрофизиков оказались нестационарные объекты, где за короткие по астрономическим масштабам промежутки времени совершаются качественные превращения материи.

Но физическая природа этих процессов пока еще остается неясной. И вполне возможно, что их изучение приведет к открытию принципиально новых физических закономерностей.

Одним словом, наука о Вселенной явно стоит на пороге новых кардинальных открытий. Если говорить военным языком, ведется подготовка к очередному генеральному наступлению. Анализируется и обобщается опыт предшествующих кампаний, тщательно исследуются и оцениваются данные разведки, ведутся разведывательные бои на наиболее ответственных участках, намечаются главные направления предстоящего наступления.

Да, не родилась еще новая физическая теория, более общая, чем теория относительности. Но наука о Вселенной и, в частности, об ее геометрических свойствах, отнюдь не стоит на месте. Добываются неизвестные ранее

результаты, прокладываются новые пути, ученые еще и еще раз возвращаются к обсуждению наиболее острых проблем, взвешивают все возможности, стараются осмыслить ситуацию с философских позиций.

И происходит это не только в стенах научно-исследовательских институтов, на семинарах и конференциях, в научных публикациях, но и в личных беседах, в обсуждениях и дискуссиях на страницах научно-популярных журналов, в ответах на письма любознательных любителей астрономии.

И все это совершается в наши дни, на наших глазах.

«Красное без расширения?»

На первых порах разбегание галактик и расширение Вселенной казалось настолько невероятным, что очень многие исследователи пытались найти красному смещению в спектрах звездных островов какое-либо иное, так сказать, не космологическое объяснение.

Другими словами, предпринимались всевозможные попытки объяснить сдвиг линий в спектрах галактик не эффектом Доплера, а какими-то иными физическими причинами.

Однако все усилия подобного рода так и не принесли успеха. И расширение Вселенной стало для подавляющего большинства ученых общепризнанным фактом.

Но тем не менее время от времени эта проблема вновь воскресает из небытия. И тогда в очередной раз вспыхивают жаркие споры. Быть может, и не совсем бесплодные, хотя всякий раз они неизменно приводят к одному и тому же результату. Но само обсуждение может оказаться полезным; оно помогает отточить аргументы, уточнить позиции, лучше осмыслить общую ситуацию.

...В редакцию научно-популярного журнала пришел известный ученый. Член-корреспондент Академии наук.

— Хоть я не физик и не астроном, — сказал он, — но я хочу еще раз вернуться к проблеме красного смещения.

— Что вы имеете в виду? — настороженно осведомился редактор, не зная, чего ожидать — сенсации или очередной полемики вокруг довольно скользкого вопроса, всегда чреватой нежелательными хлопотами и непредвиденными неприятностями.

— Видите ли,— пояснил член-корреспондент,— в последнее время на страницах газет и научно-популярных изданий теория расширения Вселенной преподносится как научно доказанный факт. Я уже не говорю о специальных работах, где такая трактовка красного смещения стала обычным делом. Хотя бы в книге Зельдовича и Новикова «Релятивистская астрофизика». Между тем, на мой взгляд, расширение Вселенной не только не доказано, но имеется целый ряд весьма серьезных сомнений по этому поводу.

И поскольку редактор выжидающе молчал, член-корреспондент выложил на стол несколько листов, напечатанных на машинке.

— Вот,— сказал он,— здесь я собрал, кажется, все возражения против космологического объяснения красного смещения. Напечатайте... И пусть кто-либо из специалистов космологов попробует это опровергнуть. Не возражаю, если мою статью и ответ на нее вы поместите в одном и том же номере.

— А что,— загорелся редактор.— Может получиться интересно. Оставьте, пожалуйста, статью. Хотя, разумеется...

— Вы хотите сказать, что мои аргументы будут опровергнуты? Возможно... Но я почему-то убежден в том, что самообман «расширяющейся» Вселенной кончится горьким похмельем. Наверное, это будет выглядеть почти как комедия Гоголя. Я даже попытался изобразить этот «спектакль» в лицах. Разрешите?..

Он взял со стола текст статьи и, открыв последнюю страницу, стал читать вслух:

«Первый ученый: Так ошибиться, так попасть впросак! До сих пор не могу прийти в себя... Ну, кто первый сказал, что расширение доказано? Отвечайте!

Второй ученый (разводя руками): Уж как это случилось, хоть убей, не могу объяснить. Точно туман какой-то ошелолил, черт попутал.

Третий ученый: Кто сказал? Вот кто сказал: эти молодцы!

(Показывает на астронома де Ситтера и аббата Леметра, которые «бухнули в колокола» сразу же после появления работ Виртца и Хаббла о красном смещении. Абстрактные построения общего расширения пространства

в теории относительности были к этому времени уже известны.)

Все обступают де Ситтера и Леметра.

Де Ситтер: Ей-богу, это не я, это господин Леметр.

Леметр: Э, нет, дорогой коллега, вы ведь первые того...

Де Ситтер: А вот и нет, первые-то были вы, господин аббат!

Занавес опускается...»

— Ну, хорошо,— улыбаясь, сказал редактор,— Вы не возражаете, если вашу статью мы дадим почитать Зельманову. И напечатаем ее вместе с его ответом?

— Разумеется,— кивнул член-корреспондент.— Именно этого я и хочу...

И вот по просьбе редакции я встречаюсь с Абрамом Леонидовичем Зельмановым.

Зельманова я знаю давно. Это один из лучших знатоков общей теории относительности и в особенности ее приложений к космологии. Но главное даже не в этом. Абрам Леонидович принадлежит к числу широко мыслящих ученых, тех, кто не просто старается решить ту или иную конкретную задачу, но стремится заглянуть в будущее своей науки, проанализировать каждый новый факт с философской точки зрения.

Мы сидим за массивным круглым столом в небольшом холле на втором этаже Государственного астрономического института им. Штернберга — традиционном месте встреч и обсуждений «в узком кругу».

Зельманов внимательно читает принесенную мной статью, то и дело покачивая головой и приподнимая брови. Я вижу, он далеко не в восторге от предстоящей миссии. Наконец, чтение закончено.

— Как вы понимаете,— медленно говорит Зельманов,— я предпочел бы не принимать участия в этой истории. Но и нельзя оставить такую статью без ответа. И дело тут не только в «бедном» читателе, которого могут ввести в заблуждение. Как я убедился, в этих вопросах, к сожалению, недостаточно четко разбираются даже некоторые специалисты. А это затрудняет движение вперед.

Потом мы несколько вечеров обсуждаем текст ответной статьи, несчетное число раз согласовываем каждый

раздел по телефону. Это, кстати, одна из особенностей Зельманова как ученого — предельная требовательность к четкости и точности изложения.

Я формулирую вопросы — Зельманов отвечает.

— Думаю, лучше всего начать с главного, — предлагаю я. — По существу, вопрос сводится к следующему: есть ли в настоящее время какие-либо основания к пересмотру объяснения красного смещения в спектрах галактик эффектом Доплера и тем самым к «обратному» пересмотру картины расширения Метагалактики?

— Хорошо, — говорит Зельманов. — Начнем с вопроса о том, можно ли вообще — в принципе — объяснить красное смещение не эффектом Доплера, а какой-либо другой причиной? В качестве такой причины чаще всего выдвигалась идея «старения» фотонов, их постепенной «деградации» на долгом пути через космическое пространство. Однако спор между эффектом Доплера и эффектом деградации может быть однозначно разрешен с помощью астрономических наблюдений. Дело в том, что эти эффекты не совсем одинаковы.

Зельманов подвигает к себе чистый лист бумаги и продолжает, одновременно выписывая четкие значки формул:

— При старении фотонов сдвиг спектральных линий должен быть одинаков по всему спектру. В случае же эффекта Доплера постоянна не сама величина сдвига, а лишь ее отношение к соответствующей частоте. Другими словами, величина сдвига в этом случае не одинакова для различных линий спектра.

— И что же говорят наблюдения?

— Наблюдения недвусмысленно свидетельствуют о том, что красное смещение в спектрах галактик есть результат эффекта Доплера.

— А эффект Эйнштейна? — спрашиваю я.

(Дело в том, что есть еще одно физическое явление, сходное с эффектом Доплера. Когда излучение распространяется в поле тяготения, его частота изменяется так же, как и при взаимном удалении источника и приемника.)

— Расчеты показывают, — пожимает плечами Зельманов, — что в случае метагалактического красного смещения этот эффект, известный под названием «гравитационного смещения», или «эффекта Эйнштейна», может пред-

ставлять собой лишь весьма небольшую добавку к эффекту Доплера.

— Следовательно...

— Следовательно, современная физика не знает таких явлений за исключением эффекта Доплера, с помощью которых можно было бы объяснить красное смещение, фактически наблюдаемое в спектрах галактик.

— Давайте поставим вопрос так, — предлагаю я. — Есть ли вообще в настоящее время основания искать какие-то другие объяснения, не связанные с эффектом Доплера? Это было бы, очевидно, оправдано в том случае, если бы «доплеровская» картина приводила к каким-либо серьезным противоречиям. Существуют ли такие противоречия в действительности?

— Таких противоречий лично я не вижу, — убежденно говорит Зельманов. — Наоборот, открытие реликтового излучения — экспериментальное доказательство справедливости теории расширения.

— Но в статье, о которой идет речь, как раз выражаются сомнения на этот счет. Высказывается предположение, что реликтовое излучение — вовсе не реликтовое, что на самом деле зарегистрирован лишь некий общий тепловой фон Метагалактики, имеющий совершенно иную природу.

— Действительно, такое предположение высказывалось и некоторыми астрофизиками. Однако еще летом 1970 года в Англии на очередном конгрессе Международного астрономического союза ученые пришли к единодушному мнению, что никаких серьезных оснований сомневаться в реликтовом характере зарегистрированного космического радиоизлучения в настоящее время не существует.

Зельманов немного помолчал, а затем, видимо, следуя своему обычному стремлению рассмотреть любой вопрос со всех сторон, добавил:

— Но если бы даже оказалось, что реликтового излучения нет вообще, то и это вовсе бы не означало, что от теории расширения Метагалактики необходимо отказаться. В рамках этой теории возможен и такой вариант, при котором реликтовое излучение отсутствует.

— В статье поднимается и еще один вопрос. Имеются ли вообще в нашем распоряжении необходимые эталоны для измерения величины красного смещения? Ведь если

длины волн электромагнитного излучения увеличиваются так же, как метагалактические расстояния, а размеры атомов так же, как длины волн, то тогда и в самом деле ничего нельзя обнаружить.

На этот раз Зельманов задумался. Потом сказал медленно и отдельно, словно диктуя:

— Современная физика исходит из того, что при расширении Метагалактики происходит лишь изменение космологических масштабов. Масштабы же микроскопические и макроскопические в процессе расширения сохраняются. Что же касается длин электромагнитных волн, то они действительно изменяются так же, как расстояния между галактиками, и это действительно является следствием расширения. Однако эти изменения относятся к тому излучению, которое уже покинуло источник. Другими словами, длины волн изменяются «в пути» по дороге к приемнику. Длины же волн, свойственные излучению того или иного источника, как и размеры атомов, остаются неизменными. И это не просто одна из возможных точек зрения, — закончил он, — а вопрос, тесно связанный с фундаментальными основами всей современной физики вообще.

— Ну, а если во Вселенной все-таки происходит одновременное изменение и космологических и атомных масштабов? Что тогда?

— Тогда?.. — Зельманов саркастически улыбнулся. — Можно показать, что подобное допущение, по существу, означает ревизию всей современной физики.

— Конечно... Конечно... Понимаю, что вы хотите сказать, — быстро продолжил он, предупреждая мои возражения. — Разумеется, это еще не аргумент. Согласен, что, несмотря на все свои огромные успехи, современная физика — тоже не «истина в последней инстанции». И многие ее положения будут еще углубляться, уточняться, дополняться и пересматриваться. Более того, у современной физики есть свои принципиальные трудности, по-видимому, требующие совершенно новых идей. Но если уж в этой области естествознания и произойдет очередная революция, то она, скорее всего, будет связана с теорией элементарных частиц, а уж во всяком случае не с проблемой расширения Метагалактики. Кардинальные преобразования необходимы только в тех случаях, когда либо теория не может объяснить новых фактов, либо в ней

обнаруживаются глубокие внутренние противоречия. Однако ничего подобного в теории расширяющейся Метагалактики нет. Не правда ли?..

— И еще один вопрос... Итак, мы живем в расширяющейся Метагалактике и наблюдаем картину удаления окружающих нас галактик по всем направлениям. В связи с этим невольно может сложиться впечатление, что именно мы как раз находимся в центре расширения — неподвижной точке, от которой во все стороны разбегаются остальные звездные острова. Так ли это?

— Конечно, не так!

— Но хотелось бы представить себе это явление хоть как-то наглядно. Может быть, можно привести какую-нибудь аналогию?

— Аналогию?— И, немного подумав, Зельмапов предложил такой поясняющий пример.

Представим себе, что из одного пункта одновременно на совершенно прямое шоссе выезжают несколько автомашин и начинают движение с разными скоростями. Через некоторое время они, очевидно, расположатся друг относительно друга в соответствии со своими скоростями: те, что движутся быстрее, уйдут вперед, более медленные — отстанут.

Теперь каждая впереди идущая машина будет, очевидно, двигаться с большей скоростью, чем следующая за ней. Представим себе наблюдателя, который находится в одной из средних машин и видит все остальные машины впереди и сзади, но не видит шоссе. Тогда, независимо от того, в какой из машин он едет, ему будет казаться, что именно он находится в центре расширения, вернее растяжения вереницы машин, так как все остальные машины — и передние и задние — будут от него удаляться: передние уходить все дальше и дальше, задние — все сильнее отставать.

Точно так же и метагалактическое красное смещение свидетельствует лишь об увеличении расстояний, отделяющих от нас другие галактики, по воле не о том, что именно мы находимся в центре. Если бы мы переместились в какую-либо иную галактику, нам стало бы казаться, что именно она является центральной.

— А теперь, — сказал я, — мне хотелось бы взглянуть на всю проблему, так сказать, с противоположной сторо-

ны. Что было бы, если бы Метагалактика не расширялась, а, скажем, сжималась?

— Если бы сжатие длилось уже миллиарды лет, мы вместо красного смещения в спектрах галактик наблюдали бы фиолетовое, — заметил Зельмапов. — Сдвиг излучения происходил бы в сторону более высоких частот и яркость неба была бы не ослаблена, как это имеет место в действительности, а, наоборот, усилена. В подобных условиях в нашей области Вселенной жизнь не могла бы существовать.

— Значит, мы отнюдь не случайно живем именно в расширяющейся системе галактик и наблюдаем именно красное смещение в их спектрах?

Зельмапов улыбнулся:

— По этому поводу я обычно говорю так: мы являемся свидетелями природных процессов определенного типа, потому что процессы иного типа протекают без свидетелей. В частности, жизнь невозможна на ранних стадиях расширения и на поздних стадиях сжатия.

Гравитация, коллапс и «черные дыры»

Итак, почти не приходится сомневаться в том, что мы живем в расширяющейся Вселенной и наблюдаем разбегание звездных систем — галактик. Причем словечко «почти» — здесь всего лишь необходимая дань философской убежденности в относительном характере научных истин.

Что же касается геометрии расширяющегося мира, то в однородной изотропной Вселенной она целиком зависит от количества материи. Или, что то же самое, от ее средней плотности.

И от этого, в частности, целиком зависит конечность или бесконечность пространства.

Или — или... Третьего не дано!

Но, увы, даже в рамках этой теории возможность столь простого выбора между конечным и бесконечным в значительной степени обманчива. Ведь, помимо бесконечности пространственной, могут быть и другие бесконечности и притом куда более неопределенные.

Например, теория однородной изотропной расширяющейся Вселенной приводит к такой явно парадоксальной бесконечности — бесконечной плотности вещества до па-

чала расширения. Современная астрофизика знает плотности до 100 миллионов тонн в одном кубическом сантиметре: таковы плотности нейтронных звезд-пульсаров. Еще выше плотность атомного ядра. Но бесконечно большая плотность?

Какое реальное состояние за этим скрывается, трудно сказать. А может быть, появление бесконечно большой плотности свидетельствует просто о неблагополучии теории?.. Может быть, все дело в том, что общая теория относительности не учитывает квантовых эффектов, которые в области сверхвысокой плотности должны сильно возрастать?

Здесь астрофизика и космология непосредственно смыкаются с физикой микромира. Но эта проблема еще ждет своего решения.

Вернемся, однако, к геометрии. Она определяется средней плотностью материи. В однородной Вселенной. А если Вселенная неоднородна?

— Однородные изотропные модели, видимо, следует рассматривать лишь как одно из приближений к реальной картине мира, — утверждает Зельманов. — Есть веские основания полагать, что структура и свойства реальной Вселенной гораздо сложнее.

И поясняет свою мысль:

— Ведь если Вселенная в самом деле однородна, то из этого автоматически следует, что поведение и свойства мегаскопических характеристик в каждую данную эпоху везде одинаковы. Такое положение вещей не только допускает возможность безудержной экстраполяции, но прямо ее требует. Другими словами, любые данные, характеризующие охваченную наблюдениями область (например, средняя плотность вещества и т. п.), не только могут, но и должны быть распространены на бесконечную Вселенную. А такая экстраполяция вряд ли может быть оправдана!

Разумеется, это — соображения уже философского порядка. Но здесь как раз тот случай, когда вмешательство философии крайне необходимо. Ведь проблема, о которой идет речь, расположена вблизи самых границ современного знания. А именно в таких ситуациях философские соображения могут оказать незаменимую помощь в выборе наиболее правильного пути.

Впрочем, накопилось немало наблюдательных фактов,

которые указывают на то, что материя во Вселенной распределена далеко не равномерно, в особенности если речь идет о сравнительно небольших областях пространства.

А если так, то о чем, собственно, может рассказать нам средняя плотность, даже если мы вычислим ее с предельной точностью? Ведь это все равно, что, скажем, подсчитать средний годовой доход жителя какого-нибудь крупного города в капиталистической стране. Он может оказаться вполне приличным и даже впечатляющим. Но в действительности за этим «средним благополучием» наперняка будут скрываться самые разительные контрасты. Ведь в это среднее войдут, с одной стороны, ужасающая нищета десятков тысяч людей, а с другой — баснословные доходы нескольких мультимиллионеров.

У различных областей неоднородной Вселенной может быть своя средняя плотность. А значит, и своя кривизна. И своя геометрия.

Известный американский физик Р. Оппенгеймер рассмотрел в свое время любопытную теоретическую возможность. Если очень большая масса вещества оказывается в сравнительно небольшом объеме, то ее сжатие под действием собственного тяготения может быть неудержимым. Наступит беспрецедентная катастрофа — гравитационный коллапс.

Впрочем, это было лишь чисто теоретическое исследование, построенное по принципу: «рассмотрим некоторую воображаемую ситуацию и попытаемся выяснить, что из нее получается...»

Одним из первых советских ученых, попытавшихся применить идею гравитационного коллапса к реальным объектам, был профессор Кирилл Петрович Станюкович.

Кирилл Петрович — доктор технических наук. Но в то же время ему принадлежит ряд оригинальных работ по теоретической физике.

— Хорошо известно, — говорит Кирилл Петрович, — что в конце прошлого века некоторым казалось, будто развитие науки закончено. И уж никто не мог представить себе, что на протяжении жизни одного поколения могут возникнуть такие науки, как квантовая механика и теория относительности, вызвавшие революцию в образе мышления физиков. Казалось бы, эта поучительная история должна была бы отбить охоту утверждать, что физическая наука может когда-нибудь закончиться. Однако

время от времени высказывается мнение, что физика в один прекрасный день может исчерпать свой предмет.

Разумеется, профессор Станюкович с подобным мнением активно не согласен.

— Вспомним Бора, Лобачевского, Ньютона, Эйнштейна, — продолжает он, — и других основоположников науки о пространстве, времени и материи, которые не только исходили из известных им фактов, но, используя свою фантазию, выдвигали и исследовали гипотезы, прямо-таки противоречащие установившимся теориям. Так стоит ли нам канонизировать их мысли? Стоит ли подгонять под их уравнения всю наблюдаемую Вселенную вместо того, чтобы использовать их успехи прежде всего как поучительные образцы умения думать, умения привести в теорию о Вселенной нечто от себя.

Сам Станюкович старается следовать именно этому принципу.

Из-под его «теоретического» пера и родилось любопытное образование — «планкеон». Так назвал его Кирилл Петрович в честь знаменитого физика Макса Планка.

По существу, речь идет о «микроколлапсе». Оказывается, для его возникновения масса порядка одной стотысячной доли грамма должна обладать радиусом порядка 10^{-33} см, что во много раз меньше радиуса электрона. Плотность подобного образования будет поистине чудовищна — в каждом кубическом сантиметре 10^{95} г! Для сравнения можно напомнить, что средняя плотность вещества Земли составляет всего 5 г/см^3 .

По существу, «планкеоны» — это замкнутые в себе эйнштейновские микровселенные. Находящиеся внутри планкеонов частицы движутся не по прямым линиям, а по замкнутым траекториям, которые нигде не выходят за пределы их поверхности.

Планкеоны независимо от их массы можно считать своеобразными элементарными частицами. Впрочем, точнее, их надо было бы назвать «мертвыми» или «спящими» — законсервированными частицами.

Подсчеты, сделанные Станюковичем, показывают, что планкеоны больших энергий должны встречаться во Вселенной чрезвычайно редко — приблизительно один планкеон на 10 тысяч кубических километров пространства.

Однако планкеонов, в которых заключены небольшие энергии, может быть значительно больше. Не исключена возможность, что они входят в состав протонов и нейтронов в качестве центральных ядер этих частиц. Но это, разумеется, лишь самое предварительное предположение.

Есть и другая гипотеза, согласно которой планкеоны — это не что иное как кварки — гипотетические фундаментальные частицы с дробными электрическими зарядами, из которых построены многие элементарные частицы и поисками которых сейчас заняты физики.

Однако может оказаться, что связь между планкеонами и обычными элементарными частицами носит совсем иной характер.

Академик М. А. Марков и профессор Станюкович высказали оригинальную гипотезу, согласно которой обычные элементарные частицы представляют собой не что иное, как наблюдаемую часть планкеонов. Эти частицы с очень большой частотой, если можно так выразиться, периодически «выскалываются» из своих планкеонов и «прячутся» обратно.

Но так как масса ненаблюдаемого вещества, заключенного в планкеонах, во много раз больше массы «выскалывающихся» из них наблюдаемых частиц, то это может означать, что ненаблюдаемая масса нашей Метагалактики во много раз больше наблюдаемой.

Согласно гипотезе Станюковича планкеоны, взаимодействуя с обычными частицами, должны время от времени «раскрываться». При таком раскрытии во Вселенную выбрасывается некоторое количество элементарных частиц, находившихся до этого в скрытой неуловимой форме. «Спящая» материя просыпается...

Ни планкеоны, ни аналогичные частицы «максимоны», придуманные академиком М. А. Марковым, пока что не обнаружены. Но за последние годы в глубинах Вселенной открыт целый ряд явлений, которые говорят о возможности концентрации огромных масс в сравнительно небольших областях пространства.

К подобным состояниям могут, например, приводить заключительные этапы в жизни звезд.

Звездный зал Московского планетария. Огромный сферический купол, поблескивающие многочисленными объективами черные шары главного аппарата в центре, голубой полусвет как всегда настраивают на какую то косми-

ческую поту. Идет публичная лекция. На кафедре доктор физико-математических наук Игорь Дмитриевич Новиков.

Игорь Новиков не случайный гость в планетарии. Когда-то он пришел сюда школьником и в астрономическом кружке познакомился с наукой о Вселенной. Здесь он не только впервые взглянул на небо в телескоп, но и научился оригинально мыслить, в бесчисленных спорах и диспутах оттачивал ум будущего исследователя. А потом Московский университет, аспирантура — он был учеником Зельманова, — защита диссертации.

И вот, Новиков — сотрудник академика Якова Борисовича Зельдовича, одного из крупнейших физиков-теоретиков, посвятившего в последние годы свои усилия исследованию Вселенной.

В планетарии не ведут научных наблюдений неба, не разрабатывают новых теорий. Под искусственными звездами читаются популярные лекции о достижениях и проблемах науки о Вселенной.

Как-то один американский турист, увидев длинную очередь, выстроившуюся возле кассы в вестибюле планетария, восхищенно воскликнул:

— Да у вас в стране всеобщее астрономическое образование!

Верно сказано. Но в планетарии посетителей не просто знакомят с новейшими представлениями о Вселенной. Современная астрономия поучительна. Она динамична, полна новых идей, она то и дело сталкивает нас лицом к лицу с удивительнейшими фактами. Она учит смело мыслить, обобщать, анализировать, искать неожиданные связи между явлениями, философски осмысливать сложные проблемы.

Среди тех, кто пришел на лекцию Новикова, — школьники, студенты, научные работники, рабочие, инженеры. И, может быть, среди них будущие эйнштейны и фридманы.

А Игорь Дмитриевич рассказывает об одном из самых удивительных сюрпризов Вселенной — «черных дырах» в космосе.

Речь идет о заключительных этапах в жизни звезд, о том, что происходит с этими небесными телами после того, как в их недрах выгорает ядерное топливо.

Падают давление и температура в центральной части звезды, и она под действием собственного притяжения

начинает сжиматься. Если масса звезды меньше массы Солнца, то в результате такого сжатия она превращается в белого карлика — небольшую звезду с плотностью около тысяч тонн в одном кубическом сантиметре.

Если масса звезды превосходит полторы солнечных массы, то сжатие продолжается и дальше. Звезда теряет устойчивость. Взрываются остатки ядерного горючего, сохранившиеся в поверхностных слоях, — со звезды срывается ее внешняя оболочка. Происходит явление, получившее название вспышки Сверхновой.

Если же масса сжимающейся звезды превосходит солнечную примерно в 2—3 и более раз, то согласно теории тяготения даже при огромной плотности спрессованного вещества, достигающей плотности атомного ядра, упругость прижатых друг к другу частиц не может остановить катастрофического сжатия. Вот тогда-то и возникает гравитационный коллапс.

Но все это — лишь предисловие. Предисловие к тому удивительному выводу, который имеет самое прямое отношение к геометрии окружающего нас мира:

— В процессе сжатия, — говорит Новиков, поясняя спроектированную на купол зала схему, — напряженность поля тяготения на поверхности коллапсирующего тела растет, и наступает момент, когда вторая космическая скорость, то есть скорость освобождения от притяжения сжавшейся звезды, оказывается равна скорости света.

И тогда возникает поразительная ситуация. Ни одна частица, ни один луч света не может преодолеть огромного притяжения и вырваться изнутри подобного образования наружу. Пространство сколлапсированного объекта как бы «захлопывается», и для внешнего наблюдателя он перестает существовать.

Это и есть «черная дыра».

Так как при коллапсе масса звезды не меняется, сохраняется ее статическое гравитационное поле. И хотя сколлапсировавшая звезда как бы исчезает из нашего мира, в действительности она продолжает взаимодействовать с окружающими объектами своим полем тяготения.

Как подчеркивают Я. Зельдович и И. Новиков, общая кривизна пространства в больших масштабах и замкнутость или бесконечность Метагалактики зависят от плотности всех видов материи, в том числе и «застывших звезд».

Астрономические расчеты показывают, что в нашей Галактике примерно 30 процентов звезд обладают массами достаточно большими, чтобы их существование закончилось гравитационным коллапсом. Исходя из этого можно приблизительно оценить число «черных дыр», уже имеющихся в нашей Галактике. Возможно, их не меньше миллиарда.

Но если во Вселенной могут происходить те удивительные явления, о которых только что говорилось, то возникает один любопытный вопрос.

Если Вселенная конечна и замкнута, нельзя ли, двигаясь по лучу света, совершить кругосветное, или, точнее, «круговселенное», путешествие, подобное путешествию вокруг Земли, то есть путешествие с возвращением в исходную точку? Разумеется, вопрос ставится чисто абстрактно, ибо при этом приходится отвлекаться от времени, необходимого для осуществления подобного замысла и технических возможностей.

Если бы материя была распределена в пространстве равномерно, так сказать, «равномерно» размазана по всему пространству, то путешествие, о котором идет речь, в принципе, вероятно, оказалось бы возможным. И, направив какой-нибудь супертелескоп в противоположную точку небесной сферы, мы, возможно, могли бы увидеть самих себя.

Но в неоднородной Вселенной наша «прямая» линия будет испытывать многочисленные местные искривления и вряд ли вернется к месту старта. Дело обстоит еще сложнее. На нашем пути могут встретиться многочисленные черные дыры с их могучим притяжением и другими пространственно-временными сюрпризами, которые способны сделать дальнейшее путешествие просто невозможным.

Таким образом, если бы мы даже и располагали необходимым временем и соответствующими техническими средствами, «круговселенное» путешествие оказалось бы куда более сложным делом, чем путешествие вокруг Земли. И не только круговселенное, но даже просто полет в намеченную точку мирового пространства.

Нельзя ли, однако, воспользоваться иным способом путешествий по Вселенной? Вернемся на время на Землю и сделаем такой «мысленный» эксперимент: попытаемся совершить путешествие из некоторой точки на эква-

торе в противоположную. Казалось бы, кратчайший вариант — движение по экватору или по меридиану. В этом случае нам придется преодолеть около 20 тысяч километров. Но есть еще одна теоретическая возможность. Поскольку поверхность нашей планеты искривлена, до противоположной точки на экваторе можно в принципе добраться напрямик сквозь тело Земли. Разумеется, если располагать для этого соответствующими техническими средствами. Тогда наш маршрут сократится до 13 тысяч километров.

Поскольку пространство Вселенной также искривлено, естественно возникает вопрос: нельзя ли воспользоваться подобным же способом и для путешествий по Вселенной? Кстати, им широко пользуются современные писатели-фантасты на страницах своих произведений.

Но все дело в том, что для путешествия «напрямик» из одной точки экватора в противоположную нам пришлось «проколоть» Землю, иными словами, выйти из двумерного пространства земной поверхности в трехмерное.

Чтобы «проколоть» искривленное мировое пространство, нам надо было бы выйти в следующее — четвертое измерение. Но, увы, пространство, в котором мы живем, хотя и искривлено, но трехмерно. И потому ускоренный метод космических путешествий, о котором идет речь, хотя и заманчив, но, к сожалению, навсегда, видимо, остается уделом лишь научной фантастики, возможно, было бы точнее сказать — ненаучной фантастики.

От парадоксов к парадоксам

Как мы уже могли убедиться, путь к решению особо сложных естественнонаучных проблем нередко идет через преодоление всякого рода парадоксов.

«Порвалась связь времен» — в величайшей тревоге восклицает шекспировский Гамлет. Но если бы датский принц был диалектиком, он понимал бы, что именно тогда, когда рвется «связь времен», — цепь привычных причин и следствий, — создаются наиболее благоприятные условия для прогресса, для скачка в неизвестное.

Парадокс в науке, то есть явление, противоречащее привычным теориям и представлениям, — почти всегда сигнал о неведомых возможностях, указание на хорошо

замаскированную природой потайную дверцу, за которой открываются совершенно новые пути в неизвестное.

«Расправившись» с парадоксами классической физики, теория относительности принесла с собой новые, не менее удивительные.

Если во Вселенной действительно существуют «черные дыры» и замкнутые области пространства, то в этих областях могут происходить совершенно поразительные вещи.

Об одной из таких возможностей рассказывают в своей книге «Релятивистская астрофизика» Я. Зельдович и И. Новиков.

Оказывается, коллапсирующее тело, которое для внешнего наблюдателя вошло внутрь сферы Шварцшильда¹, уже не может вновь расшириться так, чтобы выйти из-под этой сферы к тому же наблюдателю, который видел ее сжатие.

Для этого наблюдателя все, что следует за тем моментом, когда тело прошло через критический радиус, является абсолютно недоступным.

Но можно представить себе наблюдателя, разумеется, гипотетического, который сжимается вместе с коллапсирующим веществом. В процессе сжатия он в какой-то момент тоже пересечет сферу Шварцшильда и перейдет, таким образом, из внешнего пространства в замкнутое внутреннее пространство коллапсирующего объекта.

Теория утверждает, что при некоторых условиях гравитационное сжатие может смениться расширением еще до того момента, как плотность сжимающегося вещества достигнет бесконечной величины. Бесконечной она будет только в центре сжатия.

При расширении, очевидно, наступит момент, когда наш «внутренний» гипотетический наблюдатель вновь пересечет сферу Шварцшильда, но на этот раз изнутри, и снова выйдет во внешнее евклидово бесконечное пространство.

Но все дело в том, что это будет уже не то пространство, из которого происходит сжатие. Новая пространственная область лежит по отношению к прежней в «абсолютном будущем», и между этими двумя бесконечными

¹ Сферой Шварцшильда для данного тела называется такая сфера, оказавшись внутри которой это тело начинает катастрофически сжиматься.

областями не может быть никакого обмена информацией или какими-либо другими сигналами.

Этот вывод о двух эвклидовых пространствах, разделенных временной бесконечностью, лежащих относительно друг друга в «абсолютном будущем» и в «абсолютном прошлом», представляется довольно странным и даже фантастическим.

И надо прямо сказать, что вопрос о том, что происходит при коллапсе с точки зрения «внутреннего» наблюдателя, остается во многом еще совершенно неясным, и, в частности, трудно сказать, имеет ли он реальный физический смысл и какой именно можно сделать вывод о двух отделенных друг от друга бесконечных эвклидовых пространствах.

Но этот пример еще раз убедительно показывает, к каким удивительным, необычным, экзотическим ситуациям приводит изучение геометрических свойств окружающего нас мира, особенно в тех случаях, когда мы сталкиваемся с физическими условиями, в той или иной мере соприкасающимися с бесконечностью.

В последнее время появилась еще одна удивительная гипотеза, связанная с «черными дырами». По существу, «черная дыра» — это область, которая поглощает сама себя и окружающую материю. Вещество, попадающее в эту область, как бы безвозвратно проваливается в бездну. А может быть, в самом деле, проваливается? В другую Вселенную...

Может быть, в нашей Вселенной есть своеобразные стоки, соединяющие ее с другой или с другими вселенными? И тогда в пространстве этой другой Вселенной возникают объекты, истекающие веществом, которые по аналогии можно назвать «белыми дырами».

Таким образом, не исключена возможность, что пространство нашей Вселенной соединено с пространствами других вселенных своеобразными туннелями, по которым происходит перекачка вещества. А входы и выходы этих туннелей и есть «черные» и «белые» дыры.

В связи с этим невольно вспоминается высказывание известного английского астрофизика Джемса Джинса, еще в 1928 году предположившего, что центры галактик имеют характер «сингулярных точек», в которых «материя втекает в наш мир из некоторого иного и совершенно постороннего пространства. Тем самым обитателям нашего

мира сингулярные точки представляются местами, где непрерывно рождается материя».

Но если наряду с пространством нашей Вселенной существуют иные пространства иных вселенных и между ними происходит обмен материей, то должны видоизмениться многие привычные нам физические закономерности, в том числе закон сохранения материи. Не исключена также возможность, что по «туннелям», связывающим различные миры, проникает не только материя, но и какие-то пока еще не известные нам воздействия, которые могут оказывать влияние на многие явления нашей Вселенной.

Мы снова в планетарии. На этот раз физическая аудитория. Семинар лекторов. Выступает академик Наан.

Он стоит возле края демонстрационного стола, как всегда, внешне невозмутимый и спокойный и, как о чем-то обыденном, рассказывает о явлениях, заведомо превосходящих возможности человеческого воображения.

— Возможно, что в ходе катастрофического сжатия достигаются бесконечные плотности и бесконечные кривизны пространства-времени. Но что при этом происходит, пока остается неясным, так как в подобных ситуациях должны играть весьма существенную роль квантовые эффекты, а квантовая теория сильного гравитационного поля, к сожалению, пока еще не построена. Как представить себе физически бесконечную кривизну пространства — этого мы не знаем. Но это во всяком случае что-то очень необычное. Нечто, скажем, вроде перерыва постепенности или вроде щели во времени. А щель во времени — это, конечно, очень неприятная с точки зрения всех современных представлений вещь, это означает прекращение всяких связей, в том числе причинных связей, а отсюда — открывается принципиальная возможность существования, скажем, других вселенных, почти никак не взаимодействующих с нашей. Возможно, что существует некоторый предел плотности и кривизны, но и в этом случае физические условия столь экзотичны, что современная теория о них ничего сказать не может. И вообще в области коллапса пространство и время могут приобретать совершенно удивительные с нашей привычной точки зрения свойства.

И Густав Иоганнович все с тем же невозмутимым видом разворачивает перед присутствующими поразительную картину,

Оказывается, в районе, где совершается катастрофическое сжатие, есть области, в которых время течет с бесконечно большой быстротой. Для наблюдателя (разумеется, гипотетического), оказавшегося в такой области, целая вечность от бесконечно далекого прошлого до бесконечно далекого будущего длилась бы всего лишь какое-нибудь мгновение. Иными словами, здесь нет ни будущего, ни настоящего, ни прошлого — фактически не существует времени.

В том же районе гравитационного коллапса можно указать и такие области, в которых пространство стягивается в точку, то есть фактически не существует пространства.

Есть также основания предполагать, что в области очень сильных гравитационных полей и, в частности, в районе коллапса, нарушается и свойство односвязности пространства.

Односвязность означает, что в нашем пространстве любой замкнутый контур может быть непрерывной деформацией стянут в произвольную точку, расположенную внутри этого контура. Другими словами, это означает, что в нашей Вселенной нет «оторванных» друг от друга кусков, разделенных непреодолимыми «пропастями».

А если пространство становится многосвязным, состоящим как бы из отдельных кусков, то в каждом из этих кусков течение времени может происходить независимо и в разных направлениях. Но в таком случае в момент перехода из одного «куска» в другой, если, разумеется, такой переход вообще возможен, наблюдатель обнаружил бы, что время вдруг потекло иначе, чем раньше, например, вспять.

В области коллапса возможен и такой случай, когда пространство теряет так называемое свойство ориентированности, присущее нашему обычному пространству. Практически это означает, что наблюдатель, движущийся в таком пространстве по замкнутому контуру, вернувшись в исходную точку, мог бы обнаружить, что в результате «кругового» путешествия течение времени изменилось на обратное.

— Все эти явления, — заключает Наан, — на первый взгляд представляются парадоксальными. Но парадоксы возникают именно тогда, когда наука вплотную подходит к неизвестному. А познание неизвестного неизбежно вле-

чет за собой переоценку привычных взглядов. Поэтому мы должны быть готовыми к тому, что многие положения, которые в настоящее время кажутся нам незыблемыми, а также некоторые законы, которые мы считаем «абсолютными» (например, закон сохранения), по мере дальнейшего развития наших знаний окажутся вовсе не такими уж «незыблемыми» и не столь «абсолютными». Но, разумеется, это не означает, что прежние законы будут нацело «отменены»: просто они окажутся частными, предельными случаями еще более общих законов.

— Вы говорите о новых идеях, которые относятся к геометрическим свойствам Вселенной,— спрашивает кто-то из присутствующих.— Вы имеете в виду какие-либо конкретные идеи?

— Лично меня привлекают идеи, связанные с природой вакуума,— говорит Наан.— На мой взгляд, вакуум представляет собой не что иное, как бесконечно большой запас энергии одного знака, скомпенсированный энергией другого знака. Таким образом, вакуум — это как бы совокупность, единство противоположностей. Когда же из вакуума образуются другие формы материи, которые и составляют то, что мы называем Вселенной, эти противоположности разделяются. Возможно, вакуум и есть та «протосреда», из которой могут возникать все другие виды вещества и материи. И я думаю, что со временем на смену существующей физической картине мира, оперирующей всевозможными полями — электромагнитным, гравитационным и т. д.— придет вакуумная картина.

— Выходит, вакуум — это основа всего?

— Да, я думаю, что основой всего во Вселенной как раз и является вакуум. А все остальное не более, как «легкая рябь» на его поверхности. Очень может быть, что с этой точки зрения удастся объяснить такие явления, как рождение космических лучей высоких энергий, вспышки Сверхновых, образование радиогалактик или квазаров, а также начало расширения Метагалактики.

Лицо Наана принимает заговорщическое выражение:

— Скажу вам, но только по секрету... До сих пор исходили из предположения, что определяющую роль играют свойства материи (вещества, частиц, полей), а свойства пространства и времени являются вторичными, производными. Однако в принципе не исключена возможность, что в действительности все обстоит как раз наоборот: то есть

свойства материи представляют собой не что иное, как проявление, как следствие определенных геометрических свойств пространственно-временного «каркаса»...

— Значит, теперь, — пытается резюмировать кто-то, — прежняя постановка вопроса «или-или» — или наша Вселенная конечна, или бесконечна, устарела?

— Она устарела, — заметил Паан, — хотя бы вследствие результата, полученного Зельмановым. Об «относительности бесконечности»...

«Вселенная Зельманова»

Академик В. Фок, просмотрев эту работу, воскликнул:

— Да тут целых три докторские диссертации!

Речь шла об исследованиях Зельманова по неоднородной анизотропной Вселенной. Однако сам Зельманов, кандидат физико-математических наук, с защитой докторской не торопится. Считает, что по своим прежним результатам защищаться как-то уже неудобно, надо прежде получить новые.

Зельманов — человек чрезвычайно требовательный к себе, и решать подобные вопросы, разумеется, его право. Тем более, что дело в конце концов не в званиях, а в характере научных результатов. А результаты получены явно знаменательные.

Как мы уже говорили, сейчас вряд ли кто-либо всерьез сомневается в том, что гипотезы изотропии и однородности представляют собой лишь приближение к истинному положению вещей, быть может, не очень грубое, но все-таки приближение. Во всяком случае определенные следы отклонения от изотропии и однородности в движении и распределении галактик обнаруживают и астрономические наблюдения.

Особенно показательна анизотропия расширения — различие в темпе расширения Метагалактики по разным направлениям. Речь идет об измерениях скоростей разбегания галактик в зависимости от расстояния (так называемый параметр Хаббла). Современные наблюдения показывают, что этот параметр в зависимости от направления меняется приблизительно в полтора-два раза.

Правда, этот факт может быть истолкован двояко. Существует предположение, согласно которому наша Галактика входит в состав мощного скопления галактик,

получившего название Сверхгалактики. И не исключена возможность, что анизотропия расширения объясняется вращением Сверхгалактики. В таком случае эта анизотропия отнесется лишь к Сверхгалактике. Но само существование Сверхгалактики уже свидетельствует о паличии известной неоднородности Вселенной.

Если же Сверхгалактики, как полагают некоторые астрономы, не существует, то тогда анизотропия параметра Хаббла есть анизотропия всей наблюдаемой части Вселенной.

И в том, и в другом случае однородной и изотропной Вселенной не получается.

Правда, некоторые исследователи все же придерживаются мнения, что в достаточно больших масштабах наблюдаемая Вселенная не обнаруживает заметных отклонений от однородности. Однако нельзя забывать, что мы располагаем пока еще довольно неполными сведениями о распределении материи в космосе.

Итак, нужна теория анизотропной неоднородной Вселенной. Нужна уже хотя бы для того, чтобы взглянуть с более общих и широких позиций на однородные изотропные модели.

Но, увы, уравнения, которые при этом получаются, слишком сложны, чтобы с ними удалось справиться современным математическим оружием. Да и фактов, на которые можно было бы опереться, слишком мало.

Эта ситуация волновала Зельманова на протяжении многих лет. И в конце концов он пришел к такому заключению: если решить желанные уравнения не удастся — надо попытаться исследовать их качественно. Другими словами, не имея решений, выяснить их наиболее важные свойства. С помощью такого обходного маневра можно узнать немало интересного о поведении материи в анизотропной неоднородной Вселенной.

Удивительная эта все-таки наука — космология... Мы не в состоянии охватить своим взглядом пространство Вселенной, непосредственно увидеть все тонкости его строения. Но косвенно, с помощью соответствующих аналогий и различных мысленных моделей, с помощью математических построений, можем представить себе и такие объекты, с которыми никогда не встречались непосредственно в обыденной жизни, которых никогда не видели.

«К счастью мы обладаем измерительным инструментом, который не связан какими-либо границами тонкости,— говорил знаменитый физик Макс Планк.— Это полет наших мыслей... мысленно мы можем заглянуть в атомное ядро, равно как и преодолеть космическое расстояние в миллионы световых лет».

И вот некоторые результаты, полученные Зельмановым. Оказалось, например, что в неоднородной анизотропной Вселенной расширение в одних областях может сочетаться со сжатием в других, соседних областях пространства. А это значит, что наблюдаемое в настоящее время расширение отнюдь не обязательно является расширением всей нашей Вселенной.

Вполне возможно, что область расширения, внутри которой мы находимся, значительно превосходит ту часть Метагалактики, которая доступна современным наблюдениям, так как в противном случае к нам просачивалось бы жесткое ультрафиолетовое излучение, которое возникает в областях достаточно длительного сжатия.

При этом особенно интересно, что в теории анизотропной неоднородной Вселенной расширение не обязательно должно быть неусдержимым, а сжатие — не обязательно катастрофическим до состояния сверхвысокой плотности. Есть и другие решения. И не исключено, что наблюдаемая часть Вселенной вообще никогда не проходила стадию плотности, близкой к ядерной, хотя в период перехода от сжатия к расширению плотность могла быть весьма высокой (например, порядка плотности белых карликов — около 10^6 г/см³).

И еще на одно любопытное обстоятельство обратил внимание Зельманов. В неоднородной Вселенной может оказаться неодинаковым темп течения времени в различных областях — ведь согласно общей теории относительности он зависит от концентрации материи. Значит, одни и те же физические процессы в различных областях Вселенной могут протекать по-разному.

Следовательно, по отношению к очень протяженным физическим системам существенно изменяет свой смысл понятие развития системы как целого.

Колоссальная протяженность Метагалактики существенна и в другом отношении. Для того чтобы осуществилось взаимодействие между ее отдаленными друг от друга областями (чтобы то или иное физическое воздей-

ствие распространилось от одной области к другой), необходимы огромные промежутки времени, измеряемые миллиардами световых лет. А за такое время успевает существенно измениться общая картина Метагалактики. В подобной ситуации теряет привычный смысл даже самое понятие единой физической системы.

Но, пожалуй, все это только пролог к самому неожиданному результату.

Для того чтобы судить о тех или иных физических явлениях, надо выбрать систему отсчета. Но ведь это можно сделать различными способами. Как быть? Какой системе отдать предпочтение?

В однородной изотропной Вселенной решение этой задачи не составляет особых затруднений. Здесь есть система отсчета, единая для всей Вселенной и как бы «вмороженная в вещество». Если Вселенная сжимается или растягивается — эта система сжимается и растягивается вместе с ней.

И когда речь идет о конечности или бесконечности Вселенной, то имеется в виду конечность или бесконечность именно в этой системе отсчета.

Иное дело в анизотропной неоднородной Вселенной. Здесь движение материи может быть настолько сложным, что преимущественной системы отсчета не существует. А тогда...

Дело в том, что Зельманову удалось установить поразительную на первый взгляд вещь. Оказалось, что свойство конечности и бесконечности пространства — это свойство относительное. Оно зависит от системы отсчета.

Пространство конечное, то есть обладающее конечным объемом, в системе отсчета, движущейся по одному закону, в то же самое время может быть бесконечным относительно системы координат, движущейся по другому закону.

Если система отсчета у нас одна-единственная, проблема просто не возникает. Но в условиях неоднородной анизотропной Вселенной, где нет единой преимущественной системы отсчета, относительность конечности и бесконечности пространства уже нельзя игнорировать. В этой ситуации наше обычное противопоставление конечного и бесконечного оказывается некорректным.

Результат кажется парадоксальным. Но если задуматься и сопоставить его с другими выводами из теории отно-

сительности, то относительность бесконечности предстанет перед нами как явление, которого можно было ожидать. Ведь согласно специальной теории относительности пространственные и временные отношения между различными окружающими нас реальными объектами не являются абсолютными. Их характер целиком зависит от состояния движения данной системы. Так, в движущейся системе течение времени замедляется, а все масштабы длины — размеры протяженных объектов — сокращаются. И это сокращение тем сильнее, чем выше скорость движения. При приближении к скорости света, которая максимально возможная скорость в природе, все линейные масштабы уменьшаются.

Но если хотя бы некоторые геометрические свойства пространства зависят от характера движения системы отсчета, то нет ничего невероятного в том, что относительными оказываются и свойства конечности и бесконечности. Ведь эти свойства самым тесным образом связаны с геометрией.

Разумеется, выводы Зельманова не есть еще установление неких всеобщих геометрических свойств реальной Вселенной.

Значение этих результатов иное: благодаря им можно сделать чрезвычайно важный вывод. Даже с точки зрения теории относительности понятие бесконечности Вселенной значительно сложнее, чем это представлялось раньше.

Вот и еще один шаг, уводящий нас все дальше от классического «или-или». Совсем иной подход к постановке проблемы, по существу, иной взгляд на мир, а значит, и существенный сдвиг во всей системе нашего мышления.

Маленький диспут

Как известно, современная кибернетика пришла к выводу, что увеличение информации уменьшает неопределенность.

Между тем в изучении геометрических свойств Вселенной как будто все обстоит наоборот. Чем глубже мы исследуем эту проблему, тем неопределеннее она становится. И вот мы уже дошли до того, что, обнаружив конечные или бесконечные пространственно-временные об-

разования, не имеем права делать никаких окончательных выводов. Конечное может оказаться бесконечным, а бесконечное — конечным...

И все же противоречие с кибернетикой здесь только кажущееся, и никакого парадокса не возникает. Та неопределенность, которая разворачивается перед нами по мере изучения геометрических свойств мира, отнюдь не результат нашего незнания — она присуща самой природе.

В общем, в современной космологии происходит нечто подобное тому, что в свое время произошло в физике микромира. Ведь и там познание микроявлений лицом к лицу столкнуло ученых с неопределенностью в поведении микрочастиц.

Помните высказывание академика Гинзбурга о том, что неопределенность служит свидетельством фундаментальности проблемы.

Итак, неопределенность. Но в науке всякая неопределенность, каковы бы ни были ее природа и происхождение, неизбежно вызывает к жизни различные точки зрения, порождает споры и дискуссии, возбуждает особый интерес не только среди естествоиспытателей, но и среди философов.

Представим себе на несколько минут, что мы оказались свидетелями одной из таких дискуссий. Участники ее безымянны. Но за каждым из них реально существующая точка зрения. И даже большинство слов, которые они произносят, принадлежит вполне реальным ученым.

Первый космолог: Я исхожу из того, что проблема бесконечности Вселенной сводится к вопросу о пространственной и временной конечности или бесконечности «Вселенной Фридмана», иными словами, Метагалактики. Проблема эта — чисто физическая, и решать ее следует в рамках теории однородной и изотропной Вселенной.

Второй космолог: То есть вы утверждаете, что Метагалактика — это и есть вся материя. отождествляете «Вселенную Фридмана» со всем «материальным миром». Однако, на мой взгляд, для подобных утверждений нет абсолютно никаких оснований. И потому надо рассматривать такие космологические модели, которые «погружены» во внешний, так сказать, пространственный фон.

Первый космолог: Теория однородной изотропной Вселенной не нуждается ни в каком внешнем фоне. Метагалактика — это система наивысшего возможного порядка, она включает в себе все пространство-время, и ее расширение — это расширение всей материи.

Второй космолог: Хотя ваши утверждения и столь безапелляционны, развитие космологии их отнюдь не подтверждает. Я мог бы сослаться на целый ряд исследований, например, работы А. Зельмакова, Г. Наана, В. Амбарцумяна, которые убедительно показывают, что «Вселенная Фридмана» не охватывает всего материального мира. Более того, метрическая бесконечность, которой оперирует современная космология, — тоже лишь один из частных типов бесконечности. Поэтому если даже удастся решить вопрос о конечности или бесконечности Метагалактики в метрическом смысле — это все равно не будет еще решением вопроса о бесконечности Вселенной.

Третий космолог: Я хотел бы добавить к этому, что утверждение об однородности и изотропии Вселенной — все же чересчур далеко идущая идеализация. И, следовательно, решение проблемы конечности и бесконечности Метагалактики даже в метрическом смысле может оказаться гораздо более сложной задачей, чем это иногда представляется.

Философ: А я хотел бы подчеркнуть, что если даже свести проблему бесконечности Вселенной к вопросу о метрической конечности или бесконечности Метагалактики, то и тогда эта проблема не будет чисто «физической». Она связана и с определенными философскими предпосылками. Ведь такие вопросы, как правомерность отождествления «Вселенной Фридмана» со «всеим существующим» или метрической бесконечности — с бесконечностью вообще, носят явно философский характер. Подобные операции возможны лишь на основе решения таких коренных философских вопросов, как проблема единства мира и проблема субъекта и объекта познания, то есть взаимодействия исследователя с изучаемой реальностью.

Второй космолог: Я бы сказал так: в космологии проблема бесконечности, по существу, распадается на две проблемы, хотя и тесно связанные между собой, но все же различные. Одна из них — это проблема конечности или бесконечности тех или иных конкретных космических си-

стем, например, Метагалактики. И эта проблема может быть решена средствами физики и математики. И притом окончательно и за конечный срок. Но есть и вторая проблема — несравненно более сложная: вопрос о бесконечности всего материального мира. Так вот эта проблема стыковая, пограничная, и решить ее можно только соединенными усилиями математики, астрономии и философии.

Первый космолог: Но при такой постановке вопрос вообще не может быть решен за конечное время существования любой цивилизации. К тому же наши эталоны бесконечности непрерывно меняются.

Второй космолог: Все, что вы сейчас сказали, — совершенно справедливо.

Философ: Не совсем согласен с вами обоими. Во-первых, проблема конечности и бесконечности таких физических систем, как, скажем, Метагалактика, — тоже отнюдь не чисто физическая проблема. Весьма существенную и притом активную роль в ее решении играет философия. А что касается бесконечности всего материального мира, то этот вопрос вообще нельзя ставить в естественно-научном плане.

Второй космолог: Почему же?

Философ: Да потому, что «вся материя» не является объектом естествознания.

Второй космолог: Следовательно, вы считаете, что неопределенность, возникающая при решении проблемы бесконечности Вселенной, неизбежна лишь при отождествлении Вселенной со всем материальным миром?

Философ: Если согласиться с тем, что вселенные, с которыми имеет дело космология, — это конкретные физические системы, в частности, Метагалактика, — то для каждой из них вполне можно поставить вопрос об их конечности или бесконечности, например, в метрическом смысле.

Первый космолог: И получить окончательный ответ?

Философ: Само собой разумеется, что любой ответ всегда будет ограничен достигнутым уровнем познания.

Второй космолог: Насколько я вас понял, вы не разделяете мысль, сформулированную Нааном?

Философ: Мне кажется, точнее сказать примерно так: «Вселенная Фридмана», то есть Метагалактика может быть приближенно представлена метрически конечной или бесконечной космологической моделью.

Третий космолог: И, видимо, степень приближения значительно зависит от того, в какой мере Метагалактику можно считать однородной.

Философ: Да, конечно. Как показал А. Л. Зельманов, при учете анизотропии и неоднородности ситуация значительно усложняется.

Третий космолог: И в общем случае должна еще учитываться система отсчета, к которой относится тот или иной результат.

Философ: Вообще чем сложнее модель, тем сложнее получить ответ относительно геометрических свойств той Вселенной, которую эта модель описывает.

Второй космолог: Совершенно верно. Скажем, во «Вселенной Наана», состоящей из миров и антимиров, пространство может оказаться «разорванным», в нем могут появиться всякого рода щели.

Третий космолог: Я хотел бы обратить внимание на то, что обычно вопрос о конечности и бесконечности Вселенной почему-то рассматривается лишь в плане бесконечности пространства и времени. Между тем речь должна идти и о бесконечном многообразии физических условий и явлений, и о бесконечном многообразии взаимодействий и объектов различного масштаба.

Второй философ: Я внимательно выслушал все, что здесь говорилось, но не могу с этим согласиться. Вы все время подразумеваете, что космология решает проблему бесконечности Вселенной. Но, в действительности, космология решает иную задачу — проблему конечности и бесконечности «космической материи», то есть совокупности форм и состояний материи в Метагалактике. В частности, проблему ее пространственно-временной конечности и бесконечности. Что же касается бесконечности Вселенной, то ее бесконечность вытекает из основных принципов диалектического материализма и является окончательной независимо от выбора той или иной космологической модели.

Третий космолог: Сводить проблему бесконечности Вселенной к чистой философии совершенно неправильно. Философия не может делать какие-либо окончательные выводы по этому поводу независимо от данных естественных наук.

Второй философ: Само собой разумеется. Никто и не отрицает, что вывод о бесконечном многообразии матери-

ального мира есть результат анализа и обобщения колоссального естественнонаучного материала.

Третий космолог: Вот именно результат, а не требование, которое иные философы пытаются от лица этой науки предъявить естествознанию. А вместе с ним и самой природе.

Второй философ: Я действительно считаю, что бесконечность есть некий атрибут, некое неотъемлемое свойство материи. Но еще раз повторяю: этот вывод основывается на всем опыте современного естествознания.

Второй космолог: Ну что ж, с такой постановкой вопроса вполне можно согласиться. Можно в самом деле сказать, что у Вселенной есть некое свойство, черта, особенность, называемое реальной бесконечностью.

Первый философ: Таким образом, вы оба рассматриваете бесконечность как черту, присущую лишь материальному миру самому по себе. И совершенно игнорируете взаимодействие объекта познания, то есть Вселенной, с познающим его субъектом, то есть с человеком.

Второй философ: Речь в данном случае действительно идет об объективных свойствах самой Вселенной, а не о процессе познания.

Первый философ: Но вне процесса познания мы вообще ничего не можем сказать о Вселенной.

Второй философ: Что же в таком случае следует понимать под бесконечностью?

Первый философ: С моей точки зрения, бесконечность материального мира — это его неисчерпаемость. С одной стороны, она обусловлена несотворимостью и несוניчностью материи и бесконечными разнообразием и превращаемостью ее форм, с другой — тем обстоятельством, что материальный мир неполно отражается в знании. Именно в связи с этим, то есть с процессом познания, и возникает прежде всего необходимость философского осмысления понятий конечного и бесконечного.

Еще раз о космологии

Итак, мы имели возможность убедиться в том, что космология — это своеобразная коллекция неопределенностей. С некоторыми из них мы уже познакомились. Но есть и другие.

И вот, пожалуй, самая главная из них.

По существу, космология должна ответить на вопрос: почему Вселенная именно такова, какая она есть?

Вопрос далеко не праздный, если учесть, что именно тот вариант Вселенной, который мы наблюдаем, далеко не самый вероятный среди всех мыслимых вариантов.

Касаясь этого вопроса, А. Зельманов высказал мысль, что Вселенная существует в том виде, в каком она есть, в силу внутренней необходимости.

Но, как заметил по этому поводу Г. И. Наан, подобное утверждение отнюдь не очевидно. В него хочется верить, но оно должно быть чем-то подкреплено. Может быть, действительно существовала внутренняя необходимость, а может быть, есть набор различных Вселенных?

Для того чтобы подойти к решению этой проблемы, предстоит выяснить многое. То, что пока остается неясным и неопределенным. Скажем, вопрос о том, почему Вселенная состоит из вещества, а не из антивещества?

Но если космология — это целый комплекс неопределенностей уже в самых своих, можно сказать, исходных позициях, то, казалось бы, чего можно при такой ситуации ожидать от выводов этой науки? Разумеется, еще большей расплывчатости, неопределенности и недостоверности, подтверждающих точку зрения Бриллюэна.

Но — парадоксальная вещь — на деле все обстоит совсем иначе.

Как образно выразился академик Наан, космология строится из «деталей» и «узлов», которые частично «вырабатываются» ею самой, а частично «импортируются» из наблюдательной астрономии.

Распространено мнение, что «импортные» детали доброкачественны, а детали «собственного производства» крайне ненадежны.

— Но я считаю, — говорит академик Наан, — что положение как раз диаметрально противоположное. Наибольшее число «бракованных» деталей поступает именно из наблюдательной астрономии.

Если задуматься, то в этом, пожалуй, и нет ничего удивительного. Наблюдения космических явлений, представляющих космологический интерес, как правило, чрезвычайно сложны, а их результаты отягощены введением всевозможных поправок. Отсюда и ошибки в фактиче-

ских данных, неизбежно влекущие за собой ошибочность и теоретических построений.

Когда Эйнштейн разрабатывал свою теорию «стационарной Вселенной», он, как мы уже знаем, исходил из астрономических данных того времени, которые утверждали, что скорости движения любых космических объектов существенно меньше скорости света. Все в этой теории было хорошо за исключением той ее части, которая опиралась на результаты наблюдений. А наблюдения подвели: они оказались ошибочными, а вместе с ними и вся «стационарная теория».

Наоборот, создавая теорию нестационарной, расширяющейся Вселенной, А. Фридман по тем или иным причинам, казалось бы, совершенно игнорировал наблюдательные данные. И тем не менее пришел к верному выводу о расширении Метагалактики, получившему убедительные подтверждения в астрономических наблюдениях. И хотя теория Фридмана раскрывает лишь кинематическую ¹ сторону космологической проблемы и не решает вопроса о том, как произошли галактики и другие космические объекты, — она смогла правильно предсказать такой фундаментальный факт, как разбегание звездных систем.

Еще пример. Очень важной космологической характеристикой является «возраст» Метагалактики, точнее, верхняя граница продолжительности эпохи расширения. Величина, о которой идет речь, обратна «постоянной Хаббла», показывающей, как уже было упомянуто выше, насколько возрастает скорость разбегания галактик по мере увеличения расстояния.

В 1929 году постоянная Хаббла на основе астрономических наблюдений принималась равной 530 километрам в секунду на один мегапарсек ². В 50-х годах ее пришлось сократить вдвое. Через несколько лет значение постоянной вновь было уточнено и уменьшилось примерно до 200 км/сек на мегапарсек. Наконец в 1971 году еще более точные измерения привели астрономов к выводу, что постоянная Хаббла равна 53 км/сек на мегапарсек, причем возможная ошибка на этот раз оценивалась в плюс-минус 5 км/сек.

¹ К и н е м а т и к а — наука о движении.

² 1 парсек равен 3,26 светового года.

Соответственно менялись и оценки возраста Вселенной, точнее, его верхней границы: от 1 миллиарда 800 миллионов лет в 1929 году до 18 миллиардов лет в 1971 году.

Так чему же все-таки верить: выводам «космологической гимнастики ума» или результатам, полученным с помощью наиболее мощных наблюдательных средств?

По мнению академика Паана, в космологии в гораздо большей степени оправдывались логические умозаключения, нежели данные астрономических наблюдений. Такова история...

Над этим стоит задуматься. Почему, в самом деле, космология, несмотря на все свои неопределенности и даже ошибочные «подсказки» наблюдательной астрономии, все-таки выдает результаты, верно описывающие реальное строение мира? Не «пахнет» ли это, так сказать, идеализмом? Может быть, правы некоторые буржуазные ученые, которые утверждают, что космология не изучает реальность, а сама ее конструирует?

Об опасности подобных ошибочных выводов предупреждал еще Ф. Энгельс: «...законы, абстрагированные из реального мира, на известной ступени развития отрываются от реального мира, противопоставляются ему как нечто самостоятельное, как явившиеся извне законы, с которыми мир должен сообразоваться»¹.

Стоит вспомнить, что ситуация, очень сходная с той, которая сложилась в космологии, характерна и для математики. Можно привести немало примеров, когда, казалось бы, самые отвлеченные, абстрактные математические конструкции, полученные путем чисто логических построений, совершенно неожиданно находят важнейшие области практических приложений. Так случилось с тензорным исчислением, которое стало математическим аппаратом общей теории относительности, с теорией групп, получившей самые широкие применения в теоретической физике, с математической логикой, ставшей теоретической основой кибернетики.

Не случайно известный физик Фримен Дайсон отмечает: «Математика для физика это не только инструмент, с помощью которого он может количественно описать любое явление, но и главный источник представлений и

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 20, стр. 38.

принципов, па основе которых зарождаются новые теории».

Но ведь возможность практического применения той или иной абстрактной математической теории как раз и означает, что эта теория верно отражает те или иные отношения реального мира, что из наблюдения реального мира она в конечном счете и родилась.

Ф. Энгельс убедительно показал сущность этого явления.

«Чистая математика, — писал он, — имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира, стало быть — весьма реальный материал. Тот факт, что этот материал принимает чрезвычайно абстрактную форму, может лишь слабо затушевывать его происхождение из внешнего мира. Но чтобы быть в состоянии исследовать эти формы и отношения в чистом виде, необходимо совершенно отделить их от содержания, оставить это последнее в стороне как нечто безразличное...»¹.

Эти соображения вполне применимы и к космологии. Очевидно, впечатляющие успехи космологической науки в предвидении реальных явлений объясняются тем, что уже современная космология и ее физическая основа — современная гравитационная теория (то есть общая теория относительности — ОТО) отражают какие-то чрезвычайно общие и фундаментальные объективные закономерности мироздания. А это, в свою очередь, означает, что независимость космологии от наблюдательных данных, от фактов, лишь чисто кажущаяся. И то, что отдельные результаты астрономических наблюдений, представлявшие космологический интерес, оказывались неверными, еще ни о чем не говорит. Ибо в конечном счете космология, как и общая теория относительности, ведет свое начало от реальных фактов, добытых у природы. Этим скорее всего и объясняется поразительная эвристическая сила космологических конструкций.

С другой стороны, было бы ошибкой представлять себе современную космологию в качестве некоей всеобъемлющей и непогрешимой теории — «истины в последней инстанции». Дело не только в том, что подобный идеал в принципе недостижим. Вспомните замечание Зельманова:

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 37.

принципиальный недостаток современной релятивистской (то есть основанной на ОТО) космологии, как, впрочем, и дорелятивистской, состоит в том, что она дает для Вселенной в целом множество моделей, в то время как Вселенная в целом существует в единственном экземпляре.

Если так... А если Вселенная не одна? Если существует, как это предположил академик Наан, целый набор вселенных с разными свойствами?

Невольно вспоминается уже упомянутая нами любопытная идея того же Зельманова, согласно которой в бесконечно разнообразном мире может реализоваться вся совокупность явлений и условий, допускаемых основными физическими законами и теориями. Не отражает ли в таком случае разнообразие космологических моделей разнообразие вполне реальных вселенных?

Правда, здесь есть одна тонкость, отмеченная Зельмановым: поскольку все космологические модели описывают неограниченные вселенные, не значит ли это, что речь в действительности идет не о различных объектах, а лишь о различных описаниях одного и того же объекта?

Действительно, на первый взгляд кажется, что иначе и быть не может: если какая-то система неограниченна, то она должна заполнить собой весь материальный мир. Во всяком случае так подсказывает здравый смысл.

Но мы уже не раз могли убедиться в том, что в подобных вопросах здравый смысл плохой судья.

Для начала приглядимся повнимательнее к тому случаю, когда наша система хотя и неограниченна в пространстве, но конечна. Обязаны ли совпадать между собой все пространственно-конечные неограниченные системы? Ведь можно же представить себе, например, две совершенно отличные друг от друга замкнутые сферические поверхности, которые как раз неограниченны, но конечны. Правда, такая возможность непосредственно связана с тем, что двумерная сферическая поверхность искривлена в трехмерном пространстве, то есть в пространстве с большим числом измерений. Что же касается пространства Вселенной, то оно трехмерно и искривлено в самом себе. Но ведь о геометрии мира мы знаем еще далеко не все.

Ну, а если наша система не только неограниченна, но к тому же еще и бесконечна? Значит ли это, что она обязательно заполняет собой весь мир?

Утверждать такое заранее было бы по меньшей мере неосторожно. Ведь нам хорошо известно, что бесконечности бывают разного ранга, разной мощности, что бесконечное множество может содержать в себе другую бесконечность и само быть частью бесконечности еще более высокого порядка.

Число точек на отрезке бесконечно. Но это лишь часть того бесконечного множества точек, которое содержится на всей прямой.

Неограниченная бесконечная плоскость — лишь часть неограниченного трехмерного континуума.

Одним словом, рассуждения чисто логического толка вряд ли помогут нам найти ответ на все те вопросы, которые волнуют современную космологию. Ведь космология порождена изучением закономерностей реального мира. И только его дальнейшее исследование способно снять вопросительные знаки, волнующие современных исследователей (как, впрочем, поставить и новые).

Не сложилось ли, однако, у читателя впечатление, что углубившись в космологические проблемы, мы как бы забыли о бесконечности и отклонились от главной темы книги?

Если такое впечатление действительно сложилось, оно и обманчиво, и ошибочно.

Дело в том, что наука — и естествознание, и философия — не занимается изучением «бесконечности вообще». «Бесконечность вообще» — это понятие совершенно неопределенное, и оно не может служить предметом научного исследования. Изучаются, как об этом уже говорилось в начале книги, определенные типы бесконечности: математическая, теоретико-множественная, бесконечность как бесконечная делимость, бесконечность как неограниченность пространства, бесконечность как бесконечность объема или длительности, бесконечность как бесконечность тех или иных физических характеристик — плотности, энергии и т. п. Наконец, бесконечность как неисчерпаемость. Возможно, со временем будут открыты и другие типы бесконечности.

Наибольшее принципиальное философское значение имеет вопрос о неограниченности пространства и неисчерпаемости окружающего нас мира.

Первый из этих вопросов, по существу, равнозначен вопросу о материальном единстве мира. Согласиться с тем,

что материя ограничена в пространстве, — все равно, что признать существование сверхъестественного. Ведь богословы как раз и утверждают, что, помимо мира материального, за его границами, будто бы существует мир высший, божественный, занимающий главенствующее положение. Таким образом, вопрос о неограниченности материального мира — это принципиальный философский вопрос, и его отрицательное решение равносильно отказу от материализма.

Не менее принципиальное значение имеет вопрос о неисчерпаемости мира. Его решение также относится к компетенции философии.

Утверждение о бесконечном разнообразии реальных явлений и неограниченном характере процесса их познания человеком — одно из основных фундаментальных положений диалектического материализма. К этому вопросу мы еще вернемся.

Что же касается других упомянутых выше типов бесконечности, то выяснение их свойств не может быть достигнуто на основе одних лишь общеполитических соображений, для этого необходимы соответствующие естественнонаучные исследования. Разумеется, и в этом случае роль материалистической философии велика, так как без ее помощи невозможно осмыслить конкретные научные данные.

Основные результаты, связанные с изучением математической и теоретико-множественной бесконечностей, были достигнуты еще в прошлом столетии.

XX век, в особенности его вторая половина с ее устремлением в космос, выдвинул на первый план проблему пространственной бесконечности Вселенной. Но как мы уже знаем, эта проблема тесно связана с изучением геометрических свойств окружающего нас мира. А эти свойства, в свою очередь, непосредственно зависят от распределения и эволюции различных форм материи, то есть от таких процессов, которые изучаются космологией. Стало быть, вне современной космологии вопрос о пространственной бесконечности Вселенной мы вообще ставить не можем.

Получается неизбежная цепочка: проблема пространственной бесконечности Вселенной — геометрия Вселенной — космология, то есть цепочка, которая с необходимостью приводит нас к космологии.

Другими словами, приблизиться к решению вопроса о конечности или бесконечности Вселенной можно только путем космологических исследований.

Надо также заметить, что современная космология вобрала в себя и все те результаты исследования бесконечного, которые были получены в других областях естествознания. Именно здесь возвышается, пожалуй, главная вершина современного учения о бесконечности.

«Мега» и «Микро»

С другой стороны, на современном этапе развития наших знаний проблема конечного и бесконечного требует глубокого и всестороннего изучения космических объектов и объектов микромира.

В современной физике, хотя, разумеется, на совершенно ином уровне, опять встает вопрос, волновавший в свое время древнегреческих мыслителей, вопрос о бесконечной делимости.

«Электрон так же *неисчерпаем*, как и атом, природа бесконечна...»¹.

Этот глубочайший вывод был сделан В. И. Лениным в начале нашего столетия.

И дело, видимо, не только в бесконечном многообразии свойств электрона, как, впрочем, и других элементарных частиц, но и в его сложном внутреннем строении.

Вряд ли среди современных физиков найдется кто-либо, сомневающийся в том, что реальные элементарные частицы обладают внутренней структурой. Между тем существующие физические теории и по сей день рассматривают их в качестве геометрических точек. Но ведь частицы обладают вполне реальными массами, а точка массой обладать не может.

Нелепость?

Как образно выразился директор Международного центра теоретической физики в Триесте на недавнем Международном симпозиуме по современным проблемам физики:

— Мы построили сами такой своеобразный дом, который не имеет ни дверей и ни окон, но зато имеет стол

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 277.

высокие стены, что трудно судить, то ли это дом, то ли это тюрьма...

Во всяком случае мы опять столкнулись с сакраментальным «или—или». Или частицы — точечные образования, или придется, по крайней мере в очень малых пространственных областях, отказаться от основного постулата теории относительности — запрета сверхсветовых скоростей. А если потянуть за эту ниточку, не только затрещит по швам вся современная физика, но и придется пересмотреть наше привычное понимание причинности. Ведь при сверхсветовых взаимодействиях следствие может опережать свою причину.

Разведка велась и в том, и в другом направлениях, однако не принесла ничего обнадеживающего. В свое время подобная ситуация представлялась бы безвыходной, но теперь-то мы уже знаем, что классическое «или — или» отнюдь не исчерпывает всех возможностей.

Так, уже существующая физическая теория содержит известные указания на то, что элементарные частицы все же имеют пространственные размеры, но не в том смысле, как это мы обычно понимаем.

Поскольку любая реальная частица всегда взаимодействует с вакуумными полями, ее окружает облако так называемых виртуальных частиц. Виртуальные частицы — это своеобразные частицы-призраки, которые в одно и то же время и существуют и не существуют. Они испускаются частицей и в то же мгновение поглощаются.

Виртуальное облако можно было бы посчитать за чисто математический прием описания, если бы при взаимодействии элементарных частиц между собой и с электромагнитным полем не проявлялась совершенно реальная «размазка» электронного заряда, магнитного момента и массы этих частиц. И такая размазка становится все сложнее по мере перехода в ультрамалые области.

И в этом смысле элементарные частицы — протяженные образования. Но протяженность эта не геометрическая, а, если можно так выразиться, динамическая.

Видимо, мы находимся на пороге открытия каких-то еще не известных нам свойств пространства и времени.

Тем не менее физики не оставляют надежды найти и какой-нибудь иной выход из положения. С этой целью предпринимаются попытки всевозможных обходных маневров — в надежде обнаружить такие свойства элемен-

тарных частиц, которые сделают ответ на поставленную выше дилемму просто ненужным.

Один из таких маневров — поиски неких фундаментальных частиц, из которых образуются все остальные. Это, например, гипотетические и достаточно нашумевшие кварки Гелл-Манна и Цвейга.

Другой маневр — гипотеза так называемого бутстрапа, выдержанная в стиле самых экстравагантных идей современной физики. Суть ее в том, что любая элементарная частица представляет собой комбинацию из всех остальных. Эта идея получила режущее ухо название «ядерной демократии». Современная вариация на тему о Едипом и Многом Парменида и Зенона. Одно порождает многое, в то же время будучи само продуктом согласованного взаимодействия всех себе подобных.

Но хотя идея бутстрапа приводит к выводу, что может существовать лишь единственная совокупность самосогласованных одронов (то есть всех сильно взаимодействующих частиц — нуклонов, мезонов и гиперонов), именно та, которая и существует в природе, — задача изучения подобной совокупности необычайно сложна, так как, по всей вероятности, число подобных частиц бесконечно.

— Самый животрепещущий вопрос современной физики, — говорит один из основателей квантовой электродинамики нобелевский лауреат Ю. Швингер, — являются ли известные частицы основными и неразложимыми или же за ними существует более простая и фундаментальная подструктура и соответственно более глубокий уровень описания и понимания?

И вновь это сформулированный на новом уровне древний вопрос о том, бесконечна или конечна делимость вещества?

Проблема старая, но исходные рубежи существенно новы. Их составляют два фундаментальных открытия микрофизики XX столетия. Первое из них — обнаружение античастиц. Второе — эксперименты, в которых было установлено, что при столкновении двух частиц в зависимости от их энергии движения может рождаться любое число новых частиц.

— До сих пор мы были убеждены, что существуют только две альтернативы, — сказал по этому поводу выдающийся физик-теоретик Вернер Гейзенберг. — Либо вы можете делить вещество снова и снова на все более мел-

кие и мелкие куски, либо вы не можете делить его до бесконечности, и тогда вы приходите к наименьшим частицам. Теперь же мы вдруг обнаруживаем, что существует и третья возможность: мы можем делить вещество снова и снова, но мы никогда не получим более мелких частиц, так как новые частицы мы создаем посредством энергии, кинетической энергии, и, поскольку мы имеем дело с рождением пар, этот процесс может продолжаться без конца. Таким образом, возникло естественное, но парадоксальное представление об элементарной частице как о составной системе элементарных частиц.

Итак: не бесконечная делимость вещества Анаксагора, но и не атомизм Демокрита с его идеей неделимых и неизменных первоэлементов.

Как и современная космология, современная физика в решении проблемы конечного и бесконечного вырвалась за пределы магического «или — или»!

И, может быть, это сходство путей и достигнутых результатов не так уж и случайно: ведь в конце концов и микромир и мегакосмос — это две стороны материального мира. В конечном счете любой космический объект, как бы велик он ни был, состоит из микрочастиц.

В настоящее время известно около двухсот различных образований, претендующих на роль элементарных частиц. Среди частиц, обладающих массой покоя, крайнее положение занимает электрон. Масса этой частицы в особых энергетических единицах, применяемых в физике микромира, так называемых электрон-вольтах, составляет всего 0,5 Мегаэлектрон-вольта. Массы других элементарных частиц превосходят массу электрона. Так, например, масса протона — ядра атома водорода, самого распространенного элемента Вселенной — 1000 Мегаэлектрон-вольт.

Сравнительно небольшое число частиц мю-мезонов и пи-мезонов занимает по массе промежуточное положение между электроном и протоном. Большинство же элементарных частиц имеет массы, заключенные в промежутке между одной и двумя протонными массами.

Но есть и частицы — резонансы, масса которых превосходит массу протона в 5 раз. Возникает вопрос: до каких пор может увеличиваться масса элементарных частиц? Может быть, существует некоторая предельная масса? Однако есть и другое предположение, согласно которому «спектр масс» элементарных частиц простирается до

бесконечности. Это предположение основывается на попытке провести определенную аналогию между строением всего семейства элементарных частиц и структурой атома основного химического элемента — водорода, который обладает бесконечным числом энергетических уровней.

Разумеется, эта аналогия, как и всегда, еще не есть доказательство, но она, если и не дает возможности описать свойства семейства элементарных частиц, то во всяком случае указывает на многообразие этих свойств.

Ну, а если в самом деле не существует верхнего предела для масс элементарных частиц?

Не значит ли это, что при определенных условиях, скажем, в ультрамалых пространственно-временных областях, могут рождаться макроскопические объекты?

Разумеется, нечто подобное может произойти лишь при очень высоких энергиях взаимодействий. Такие энергии на ускорителях пока еще не достигнуты. Не могут здесь помочь и наблюдения космических лучей. Дело в том, что космические частицы неизбежно теряют часть своей энергии в результате взаимодействия с фотонами реликтового излучения. И поэтому энергия частиц автоматически «обрезается» на некотором определенном уровне и никогда не может его превзойти.

Все же «макроскопические явления» в микромире представляются маловероятными. Дело в том, что для энергии виртуальных частиц, видимо, тоже существуют какие-то ограничения. Об этом говорит тот факт, что хотя в теории некоторые энергетические величины и получаются бесконечно большими — в реальной природе они всегда оказываются конечными.

Но, возможно, существует другая грань соприкосновения микро- и макромира. Недавно известный советский физик М. А. Марков обратил внимание на одно неожиданное следствие, вытекающее из того, что согласно теории относительности полная энергия замкнутой Вселенной должна равняться нулю. Представим себе, например, Вселенную Фридмана, которая чуть-чуть незамкнута в том смысле, что равновесие энергий в ней несколько нарушено и имеется некоторый положительный избыток, соответствующий, скажем, массе нейтрона. Тогда, с точки зрения внешнего наблюдателя, такая Вселенная не будет отличаться от элементарной частицы.

Хотя подобные рассуждения носят несколько отвлечен-

ченный характер и связаны с некоторыми довольно смелыми допущениями, тем не менее они служат возможным указанием на то, что пропасть между микро- и макромиром, возможно, не так уж широка и глубока.

Во всяком случае изучение микроявлений уже сегодня приводит нас к проблемам космического порядка, а решение космологических вопросов все чаще наталкивается на основные проблемы физики элементарных частиц.

Но возможно, между «мега» и «микро» существуют связи еще более глубокие. Имеется в виду так называемый принцип Маха, это название дал ему Эйнштейн. Речь идет о связи бесконечно малого и бесконечно большого, которая в современной физике приобретает довольно реальные очертания.

Влияет ли «интегральный вселенский фон» на отдельные и, казалось бы, обособленные явления? Вот в чем вопрос.

Как известно, одним из основных положений материалистической диалектики является идея всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений природы.

— Можно ли в связи с этим считать, — спросил я при случае академика Наана, — что любое физическое явление имеет не только местный, локальный характер, но зависит и от некоего, так сказать, космического фона? Что думают на этот счет физики и астрономы?

— Это захватывающий вопрос, — не задумываясь, отвечал Наан. — С одной стороны, современная физика сугубо локальна. Все явления описываются с помощью дифференциальных уравнений, которые зависят лишь от условий либо в данной точке, либо в соседних, близких к ней точках. Интегральный фон, таким образом, во внимание не принимается, автоматически считается несущественным... Но, с другой стороны, для того чтобы получить решение дифференциальных уравнений, необходимо задать так называемые краевые условия — начальные или граничные, или и те, и другие. И далеко не ясно, являются ли эти условия по своей природе тоже чисто дифференциальными. Есть основания предполагать, что через них в наше решение обязательно «проникает» и глобальный фон.

— А космология? Как она решает эту проблему?

— В космологии это как раз проявляется довольно отчетливо. Космологические уравнения — тоже дифференциальные уравнения. И из них пельзя извлечь почти никакой информации до тех пор, пока не сделаны те или иные предположения глобального характера, например, предположение об однородности и изотропии. Можно думать, что так должно быть и во всей физике, но пока что до этого просто еще не докопались. Природа тщательно скрывает свои тайны.

Несколько определеннее и тоже в положительном смысле ответил на этот же вопрос профессор Станюкович:

— Я думаю, что во всякое явление входит интегральный фон, связанный с наличием гравитационного поля.

Изучение микромира открывает и совершенно новые граи в проблеме пространства и времени.

С общефизической и философской точек зрения пространство и время — всеобщие формы существования материи. Однако в конкретных физических процессах пространство и время проявляются в структурных свойствах явлений и в смене состояний. В этих случаях о пространственных и временных отношениях можно говорить только тогда, когда имеет смысл различие двух соседних точек или объектов и двух последовательных состояний.

Но в том-то все и дело, что «соседство» и «следование» — это совершенно конкретные свойства физических структур, которыми они могут обладать, а могут и не обладать. Такое трудно представить себе наглядно, но в принципе это вполне возможно. Следовательно, возможны «внепространственные» и «вневременные» формы существования материи. Разумеется, если пространство и время понимать не в философском, а только в физическом смысле.

Но как все же соотнести эту возможность с общефилософскими представлениями? Вопрос, на который должны дать ответ совместные усилия физиков и философов.

Одним словом, «или — или» преодолено, и в познании геометрических свойств мира открываются новые пути, но на этих далеко не простых путях и космологии, и микрофизике и философии еще предстоит завоевывать каждый очередной шаг.

Заглянем в будущее

Будущее науки. Ее завтрашний и послезавтрашний день. Грядущие открытия. И, в частности, завтрашний день космологии, новые открытия в области изучения геометрии Вселенной. Какими они будут?

— Боюсь, что реально предвидеть дальние пути развития естественных наук крайне трудно, почти невозможно, — говорит академик Наан. — Что мы можем сказать, например, о науке двухтысячного года, если наши сегодняшние знания составят в ней только десять процентов? Подлинное будущее, то специфическое, что отличает науку будущего от настоящего, не дает себя предвидеть. Решающую роль в формировании будущего сыграют не те проблемы, которые мы умеем решать, и даже не те, которые уже поставлены, но решены будут лишь в будущем. Решающую роль все же сыграют проблемы, которые нам сейчас и не сняты.

Да, предсказывать будущие научные открытия, видимо, и в самом деле, увы, невозможно. Но намечать наиболее перспективные пути к этим «неизвестным» открытиям вполне в силах ученых.

Первые июньские дни 1970 года. Теплый летний дождик омывает Крещатик. Не рискуя вступать с ним в спор, участники очередного Всесоюзного симпозиума по философским проблемам космологии и теории тяготения, происходящего в Киеве, после окончания очередного заседания столпились у выхода.

Пользуясь случаем, обмениваются впечатлениями. В центре самой большой группы А. Л. Зельманов. Его выступление было хотя и самым кратким, но, пожалуй, и самым впечатляющим. Впрочем, то, что мы услышали сегодня, явилось естественным развитием его взглядов, уже не раз опубликованных.

Среди довольно большого числа различных физических теорий может быть выделено сравнительно небольшое число «основных», то есть таких теорий, предметом которых являются основные законы физики и основные сведения о характере движения. В настоящее время таких «основных» теорий насчитывается шесть: ньютоновская теория тяготения, классическая механика, квантовая механика, специальная теория относительности, общая теория относительности и релятивистская квантовая теория.

В уравнения всех этих теорий, за исключением ньютоновской механики, входят так называемые фундаментальные постоянные. Их три — постоянная тяготения, величина, обратная скорости света, и так называемая постоянная Планка.

Когда создается физическая теория более общая, чем предыдущие, она «вбирает» в себя и соответствующие постоянные. Так, например, в уравнения ньютоновской теории тяготения входит только одна фундаментальная постоянная — постоянная тяготения, а в уравнения специальной теории относительности — величина обратная скорости света. В уравнения же общей теории относительности, которая представляет собой обобщение этих двух теорий, входят обе указанные постоянные.

Точно так же релятивистская квантовая теория, представляющая собой обобщение специальной теории относительности и квантовой механики, вобрала в себя две фундаментальные постоянные — величину, обратную скорости света, и постоянную Планка.

Поэтому есть основания предполагать, считает Зельманов, что будущая физическая теория, которую можно условно назвать общей физической теорией, вберет в себя все три фундаментальные постоянные. Другими словами, в ее уравнения, видимо, должны будут входить и гравитационная постоянная, и величина, обратная скорости света, и постоянная Планка.

Как-то я поинтересовался, есть ли, помимо этих соображений, еще какие-либо другие?

— Видите ли, — сказал тогда Зельманов. — И общая теория относительности, и релятивистская квантовая теория, взятые по отдельности, явно не полны. Первая не охватывает квантовых явлений, вторая — гравитационных. Между тем в природе и квантовые явления, и гравитация реально существуют. А следовательно, общая теория должна охватить и те, и другие.

— Но ведь не исключено, что единая физическая теория, объединяющая релятивистскую квантовую теорию и общую теорию относительности, вообще не может быть построена.

Мой вопрос, должно быть, не показался Зельманову чем-то неправомерным.

— В принципе такой случай может произойти, — согласился он. — Но тогда место общей физической теории

должны занять какие-то принципы, из которых будет следовать, что синтез общей теории относительности и релятивистской квантовой теории невозможен.

Потом мне не раз приходилось слышать, как подобные же мысли высказывали и другие ученые.

— Для того чтобы выяснить вопрос о Вселенной в целом, — говорил, например, известный советский физик Д. А. Франк-Каменецкий, — необходим синтез классической теории поля, венцом которой является теория тяготения, и квантовой теории поля, которая позволяет изучать и понимать свойства частиц при очень больших энергиях. Необходимая теория, которая могла бы одновременно описывать и свойства частиц при очень больших энергиях, когда эти частицы взаимно переходят друг в друга, и одновременно явления тяготения, когда эти частицы образуют тела столь большой массы, что силы тяготения приобретают решающую роль.

А сегодня с трибуны симпозиума Зельманов попытался заглянуть в завтра будущей теории.

Дело в том, говорил он, что все основные физические теории пользуются представлением о так называемом метрическом пространстве, то есть пользуются понятиями «длины» и «длительности».

Но для того чтобы применять эти понятия, необходимо знать их эталоны. В современной физике прототипами таких достаточно точных и строгих эталонов могут служить соответственно кристаллы вещества и атомные колебания.

Однако уже при современном уровне знаний можно представить себе вполне реальные физические условия, при которых материальные объекты, способные служить эталонами длины и длительности, в принципе не могут существовать, то есть не могут существовать ни атомы, ни кристаллы. С еще более тяжелыми ограничениями мы встретимся в тех случаях, когда не могут существовать даже элементарные частицы.

Есть все основания думать, что наша область Вселенной, видимо, прошла через подобные стадии. Но это означает, что физическая теория применительно к подобным условиям не может пользоваться понятиями «длины» и «длительности». Разумеется, возможно, что в таких условиях есть другие эталоны «длины» и «длительности». Но это будет уже другая «длина» и другая «длительность».

Поэтому можно предполагать, что в будущей общей физической теории понятия «длины» и «длительности» вообще перестанут быть основными. Не исключено, что от них и вовсе придется отказаться.

А вечером мы сидим в уютном номере старинной киевской гостиницы, и я пытаюсь «выудить» у Зельманова «дополнительные соображения». Впрочем, он, как всегда, охотно обсуждает подобные вопросы.

— Вы сказали, — начинаю я, — что в будущей теории, возможно, придется отказаться от понятий «длины» и «длительности». Вероятно, существует такая закономерность: при переходе от одной физической теории к другой, более общей, всегда приходилось от чего-то отказываться?

— Да, — согласился Зельманов. — Но, заметьте, отказ этот всякий раз был минимальным.

— Ну и что же произойдет после того, как в будущей теории «длина» и «длительность» перестанут быть основными понятиями?

— Видите ли, выбор определенных эталонов «длины» и «длительности» единственным образом фиксирует наше понимание метрических величин (промежутков времени, расстояний, углов), а следовательно, и метрических свойств пространства. Именно так обстоит дело в ньютоновской теории. А если преимущественных эталонов нет, можно вводить различные метрики. Но каждой метрике соответствует своя формулировка физических законов.

— Своеобразный принцип относительности? А как вообще будет обстоять дело с относительностью?

— Кстати... Не помню, говорил ли я вам о том, — интересовался Зельманов, — что относительность конечности и бесконечности пространства имеет особый смысл?

Я отрицательно покачал головой.

— Так вот, дело в том, что если в некоторой системе отсчета объем пространства конечен, то это относится только к данному моменту времени. В действительности же он стремится к бесконечности. Между прочим, это обстоятельство показывает неправомерность или, точнее, относительность противопоставления актуальной и потенциальной бесконечности в их применении к материальному миру. Что же касается будущей теории... Действительно, на уровне общей теории относительности пространственная и временная копечность и бесконечность

относительны. Но конечность или бесконечность пространства-времени абсолютна — именно потому, что есть единственные эталоны длины и длительности. Но если равноправных метрик много, то возникает и относительность пространственно-временных характеристик мира.

— А вот что интересно. Как вы думаете, есть ли что-либо общее в том переходе, который произошел от классической физики к общей теории относительности, и в предстоящем переходе от общей теории относительности к общей физической теории?

— То был переход от физики, в которой принцип относительности играл подчиненную роль или не играл вообще никакой роли, к физике, для которой принцип относительности явился основным. А теперь, возможно, произойдет переход к физике, для которой существует соотносительность физики и геометрии.

— Что это значит — соотносительность физики и геометрии?

— Соотносительность в том смысле, что только совокупность того и другого может описать закономерности материального мира.

— Ну, а если попытаться заглянуть в еще более отдаленное будущее физической теории? От чего еще придется отказываться?

— По всей вероятности, от фиксированного числа измерений пространства-времени. Как вы знаете, классическая физика оперировала с трехмерным пространством. В общей теории относительности рассматривается пространство уже четырех измерений — пространство-время, в котором три координаты — обычные пространственные координаты, четвертая — время. Не исключена возможность, что в будущей физической теории появятся пространства и с большим числом измерений, а статут координат дополнительных измерений получат какие-то другие физические величины. Очень может быть, что ими могут стать такие характеристики, как масса и энергия, импульс, а может быть, электрический заряд, барионное число и так далее.

На улице снова забарабанил дождь, Зельманов встал и, подойдя к окну, надолго задержался возле него, всматриваясь в размытое водяными струйками мерцание вечерних огней. Возможно, эта несколько призрачная картина

порождала в его сознании какие-то новые ассоциации, возбуждала полет воображения.

Полет воображения!.. Об его огромной роли в разработке оригинальных научных теорий высказывались многие крупнейшие ученые, создатели новых теорий и представлений.

— В основе всех истинных достижений науки лежит творческое воображение, — говорил французский физик Луи де Бройль, один из создателей квантовой механики. — И именно поэтому человеческий ум способен в конечном итоге взять верх над всеми машинами, которые вычисляют лучше, чем он, но не могут ни воображать, ни предчувствовать.

И те выводы, к которым пришел Зельманов, тоже результат полета воображения ученого, оттолкнувшегося от современного состояния науки и поднявшегося на такую высоту, с которой можно заглянуть в ее завтрашний день.

А пока Зельманов стоял у окна, я вспоминал недавний разговор примерно на ту же тему с академиком Нааном. О наиболее перспективных с его точки зрения идеях в современной физике и астрофизике.

— О перспективности тех или иных идей можно судить лишь с крайней осторожностью, — заметил тогда Густав Иоганнович — В сущности, можно говорить только о том, какие идеи импонируют. А здесь все зависит от интуиции. Лично мне больше всего импонируют идеи, связанные с предположениями о паличии в геометрических свойствах Вселенной различных «патологических» особенностей. До тех пор пока мы не решимся отказаться от попыток подгонять свойства Вселенной под простейшие идеи, нового большого прогресса в философском понимании пространства, вероятно, не будет. Сюда, в частности, относится вопрос о прерывности и непрерывности пространства как в малом, так и в большом.

— Насколько я понял, речь идет о возможности существования областей пространства или целых миров, существенно отличающихся друг от друга по своим геометрическим свойствам? — спросил я своего собеседника.

— Да. Тут могут быть самые удивительные неожиданности. В свое время я, например, высказал идею так называемой симметричной Вселенной. В такой Вселенной наряду с нашим «миром» — Метагалактикой — существует «антимир». Но не просто антимир из антивещества.

В этом антимире имеет место обращение пространства-времени: «правое» поменялось местами с «левым», другими словами — все положительные координаты стали отрицательными, а время течет вспять в сравнении с нашим временем. Теоретически возможна и еще более сложная картина совокупности различных «сопряженных миров».

Разумеется, над изучением геометрических свойств Вселенной трудятся не только Зельманов, не только Наан, но и многие другие современные исследователи — и советские, и зарубежные. И физики, и астрономы, и философы. Но именно А. Л. Зельманову удалось получить в последнее время наиболее впечатляющие новые результаты, а Г. И. Наан не может не привлекать внимания неизменной оригинальностью своих суждений, свежестью и остротой мысли.

— Пожалуй, самое интересное то, — снова заговорил Зельманов, — что нам никогда не удастся построить полную и завершенную теоретическую модель Вселенной, описывающую все детали происходящих в ней процессов.

— А, собственно говоря, почему? — возразил я. — Ведь если допустить, что Вселенная конечна в пространстве и в ней содержится конечное число частиц, почему в этом случае нельзя построить исчерпывающую модель?

— Прежде всего это абсолютно невыполнимо практически. Приведу один пример, который мне кажется знаменательным. Как вы знаете, химические свойства различных веществ мы выясняем в эксперименте. Но эти свойства зависят не только от молекул, но и от деталей их структуры, которые определяются законами квантовой механики. Так что в принципе есть возможность вычислить все химические свойства различных веществ, не прибегая к экспериментам, чисто теоретическим путем, исходя из квантовомеханических принципов.

— Почему же так и не поступают? С помощью электронно-вычислительных машин?

— Не так давно один зарубежный ученый решил испытать эту возможность. Он выбрал очень простую молекулу и провел для нее соответствующие расчеты. Разумеется, они потребовали применения электронно-вычислительных машин. И, действительно, совпадение вычисленных химических свойств избранного вещества с его

свойствами, известными из эксперимента; получилось поразительное. Тогда ученый взял другое вещество с несколько более сложной молекулой и попробовал проделать то же самое. Но тут обнаружилась совершенно потрясающая вещь. Оказалось, что из-за очень небольшого усложнения структуры молекулы объем необходимых вычислений вырос в невероятной степени, и работа оказалась практически совершенно невыполнимой. Даже с помощью всех существующих в мире электронно-вычислительных машин. А ведь речь шла о химических свойствах всего лишь одного довольно простого вещества.

— Значит, если даже будут открыты все основные физические принципы, вывести чисто теоретически все многообразие мира практически невозможно?

— Да, так обстоит дело. Кстати сказать, именно по этой причине наука никогда не откажется от эксперимента, эксперимент никогда не может быть полностью заменен никакой теорией. Уже хотя бы потому, что это невыполнимо практически. И еще: химия в принципе может быть выведена из физики, а биология — из химии и так далее... Но так как это невыполнимо, то каждая из перечисленных наук имеет право на самостоятельное существование.

В дверь стучат, и в номере появляются соседи по гостинице, тоже участники симпозиума — два молодых ленинградских философа Бранский и Кармин.

Разговор становится общим. Обсуждается все та же тема — будущая теория Вселенной. Но теперь наша беседа приобретает явно философский оттенок. Речь, в частности, заходит об эвристической роли философии.

— Эвристическая роль философии, — увлеченно говорит Кармин, — состоит не в формировании тех или иных физических принципов и решении конкретных физических задач, а в формировании фундаментальных исходных понятий новых фундаментальных теорий. Именно этим диалектический материализм отличается от натурфилософии.

— Но ведь могут же философские соображения служить критериями для выбора тех или иных направлений в физике и астрофизике? — замечаю я.

— Безусловно, да, — отзывается Бранский. — Но именно для выбора, а не для вывода. Нельзя из философских принципов логическим путем получать физические вы-

воды. Между прочим, именно так понимал роль философии в физике Альберт Эйнштейн.

Они очень хорошо дополняют друг друга — эмоциональный Кармин и уравновешенный, рассудительный Бранский.

— Обычно при разработке новой теории имеется некоторое количество фактов, — добавляет Кармин, — на основе которых можно в принципе создать множество различных теорий. В конце концов какому из возможных вариантов отдать предпочтение — решается практикой. Но все же на первых порах ученый должен стать на какую-то точку зрения. И здесь обычно проявляется то, что называют интуицией исследователя. Если же разобраться глубже, то окажется, что в основе такой интуиции, как правило, лежат философские предпосылки.

— Практика обычно осуществляет отбор уже сформировавшихся теорий, но она не в силах помочь нам сделать выбор того или иного принципа из нескольких возможных. А без этого нельзя построить теорию, — заключает Бранский.

— Ну, а как, на ваш взгляд, — спрашиваю я, — способна ли философия заглядывать в будущее науки дальше, чем сами конкретные науки?

— Да, конечно, — убежденно говорит Бранский. — Так, например, согласно современной физической теории от распределения материи зависят метрические свойства пространства, но топология при этом одинакова. А с точки зрения философии возможно изменение также и топологических свойств. Это вытекает из последовательного проведения принципа изменчивости материи, изменчивости не только частных свойств, но и общих. Конечно, подобный прогноз не обязательно должен оказаться верным, но философия помогает его сделать.

— Физические соображения обычно накладывают более жесткие ограничения, — замечает Кармин. — С точки зрения философии картина получается более общей, а значит, появляется возможность и более далеких выводов. Кроме того, следует заметить, что философия более устойчива, чем конкретные научные теории, она медленнее меняет свой вид. Это объясняется тем, что философия является обобщением более высокого порядка. Вот почему философия способна как бы задавать схему познания,

Слушая их, я думаю о теоретиках — той особой категории исследователей природы, которые способны силой мысли и воображения строить модели явлений, известных и еще неизвестных.

У теоретиков (а космологи, как, впрочем, и философы, это и есть теоретики в самом чистом виде) — особая лаборатория. Нет в ней ни телескопов, ни радиотелескопов, ни ускорителей ядерных частиц, хотя, разумеется, и теоретики должны быть в курсе новейших наблюдений и экспериментов. Иначе не о чем будет теоретизировать. Но основной рабочий инструмент теоретика — вечная ручка и лист бумаги, а главное исследовательское оружие — размышления и... разговоры: споры, диспуты, обсуждения и просто обмен мнениями с другими исследователями при каждом удобном случае. И нередко именно в ходе таких бесед и рождаются новые оригинальные мысли, которые затем обрастают вычислениями и формулами, а иногда превращаются в новые гипотезы и теории.

И кто знает, может быть, те дискуссии и обсуждения, которые вели физики, астрофизики и философы тогда в Киеве, в зале заседаний симпозиума, и в перерывах, и в гостиничных номерах, и просто прохаживаясь по широкому солнечному Крещатику, может быть, они тоже послужат одним из толчков к разработке той теории Вселенной, которая уже стучится в двери и которую все мы ожидаем с волнением и нетерпением.

Неисчерпаемый, но познаваемый мир

Итак, вопрос о пространственно-временной бесконечности Вселенной чрезвычайно сложен и многогранен. И многое в его решении зависит от дальнейших исследований.

Но одна бесконечность не вызывает сомнений — «бесконечность вглубь и вширь» — неисчерпаемость материального мира.

С одной стороны, это бесконечность свойств и связей любого объекта — та самая неисчерпаемость, о которой говорил В. И. Ленин. А отсюда бесконечное разнообразие мира — бесконечное число взаимодействий, состояний, явлений и условий во Вселенной. Об этом говорит хотя бы современное состояние физики элементарных частиц.

В настоящее время науке известно четыре типа взаимодействий между микрообъектами. Прежде всего это так называемые сильные или ядерные взаимодействия — они удерживают протоны и нейтроны в ядрах атомов. Второй тип — электромагнитные взаимодействия, с которыми мы встречаемся внутри атомов, — они обеспечивают существование электронных оболочек. Третий тип — слабые взаимодействия, которые проявляются, в частности, при радиоактивном бета-распаде. И, наконец, гравитационные взаимодействия, отличающиеся своим универсальным характером и охватывающие все уровни материальных объектов от элементарных частиц до космических миров.

Интенсивность каждого из этих взаимодействий приблизительно в тысячу раз слабее предыдущего. И поэтому может показаться, что в тех процессах, где проявляются, скажем, сильные взаимодействия, все остальные уже не могут оказывать на ход событий сколько-нибудь существенное влияние. Точно так же при слабых взаимодействиях не могут иметь существенного значения гравитационные эффекты.

Однако в действительности дело обстоит, видимо, значительно сложнее. В последнее время теоретики нащупали неожиданные глубинные внутренние связи между различными типами взаимодействий. В частности, например, оказалось, что значение масс электрона и протона, видимо, может быть вычислено на основе гравитационных эффектов.

Впрочем, эти результаты, быть может, не столь уж неожиданны. Ведь еще А. Эйнштейн многие годы своей жизни посвятил поискам единой теории поля.

Вообще окружающий нас мир можно представить себе как рыболовную сеть, состоящую из множества мельчайших ячеек. Каждую из этих ячеек можно вырвать из сети и изучить в отдельности, саму по себе. Но подобным способом мы ничего или почти ничего не сможем узнать о сети в целом: ведь вырывая ячейку, мы разрушаем сеть. К тому же различные ячейки «мировой сети» отличаются друг от друга.

Отсюда следует чрезвычайно важный вывод, имеющий огромное принципиальное значение: изучать явления природы необходимо в их совокупности и взаимодействиях. Только при этом условии мы можем составить картину

мировых процессов, верно отражающую реальное положение вещей.

Но так как число отношений и взаимодействий между ячейками «мировой сети» бесконечно, то мы с неизбежностью приходим к заключению о бесконечном многообразии реального мира.

Этот вывод находит себе все больше подтверждений в новейших данных современного естествознания.

Во всяком случае развитие современной физики убедительно показывает, что чем глубже мы проникаем в тайны строения материи, тем более многообразные и тонкие связи обнаруживаем.

Это — с одной стороны...

А с другой, бесконечный характер процесса «исчерпания» мира человеком — его познания.

Если в эпоху «классической» науки, когда кардинальные изменения привычных представлений об окружающем мире происходили в достаточной степени редко, у человека не могло не создаваться ощущения полной или почти полной завершенности существующей системы знаний и, следовательно, ограниченности познания вообще, то современное естествознание уже не питает подобных иллюзий. В «неклассической» науке, ведущей свое начало от великой революции в физике, совершившейся на рубеже XIX и XX столетий, периодический пересмотр фундаментальных принципов стал нормой, которая не только разрушает миф о завершенности науки, но и является весьма действенным фактором в развитии цивилизации.

Связанный с классической наукой идеал завершенного знания постепенно уступает место идеалу *бесконечного познания*. Стремление к достижению окончательного объяснения того или иного явления природы, полностью исключающего возникновение новых вопросов, сменяется ясным пониманием перспективы возникновения в процессе научного исследования бесконечного числа все новых и новых вопросов. А неизбежность появления этих вопросов, способная привести в уныние ученого классической эпохи, сегодня, наоборот, представляется нам в оптимистическом свете — она свидетельствует не только о неисчерпаемости окружающего мира, но и о безграничных возможностях познания его человеком.

Разумеется, это вовсе не означает, что современная

наука ставит своей единственной и главной задачей только генерирование все новых и новых проблем, не слишком заботясь о детальном изучении каждого данного явления. Познание конкретных явлений по-прежнему составляет важнейшую функцию науки. Но в современном естествознании этот процесс неотделим от прогресса познания в целом. Каждое конкретное объяснение — это в то же время и очередной вопрос или целая серия вопросов, продвигающая вперед весь бесконечный процесс познания.

Ощущение безграничности познания, неисчерпаемых возможностей человека в изучении окружающего мира имеет и огромное психологическое значение. Безграничность познания, присущая всему человечеству, противостоит индивидуальной ограниченности человеческой жизни.

Угроза небытия испокон века была угрозой для каждого человека, и люди пытались преодолеть ее с помощью различных религиозных и философских концепций. Именно такова была сущность философии эпикурейцев: бесконечное небытие лежит за пределами конечного человеческого существования.

Когда мы существуем, восклицал Эпикур, смерть еще не присутствует, а когда смерть присутствует, тогда мы не существуем!

Но вынося бесконечность за рамки существования каждого отдельного человека, подобная философия могла разве лишь освободить его в какой-то степени от страха смерти, но в то же время, замыкая любые цели и надежды в конечные рамки индивидуального существования, лишала человека какой бы то ни было отдаленной перспективы.

Совершенно иное представление о конечности бытия и бессмертии приносит современная наука и связанная с ней безграничная преобразующая деятельность человечества, обращенная в будущее. Именно она дает каждому отдельному человеку ощущение собственного бессмертия, бессмертия индивидуальной человеческой личности.

Для осуществления своих целей человек познает закономерности природных процессов и, изменяя начальные условия, сознательно добивается того, чтобы эти процессы приводили к нужным результатам. Дело в том, что ход событий в природе однозначно определен объективными закономерностями. Выбор же начальных условий в из-

вестной степени не зависит от характера этих законов и находится во власти человека.

«То, что мы называем наукой,— писал в 1951 году А. Эйнштейн,— преследует одну-единственную цель: установление того, что существует на самом деле. Определение того, что должно быть, представляет собой задачу, в известной степени независимую от первой, если действовать последовательно, то вторая цель вообще недостижима».

Но тот же Эйнштейн признавал, что наука обладает моральными истоками, с которыми связано не само содержание научных понятий, а их развитие. Развивающееся моральное самосознание движет науку вперед.

«Поведение индивида в феодальном обществе определялось традицией, приобретавшей религиозную основу,— пишет известный советский философ профессор Б. Г. Кузнецов.— Потом схоластика стремилась дать традициям и догмам и, в частности, моральным канонам, политическое обоснование, необходимое для теократического авторитета церкви. Возрождение освободило человека от традиционных схоластических канонов морали, но он стал жертвой светской тирании абсолютных монархий и олигархических республик. Потом на смену авторитарной регламентации поведения человека пришла стихийная сила статистических законов, игнорировавших индивидуальные интересы и судьбы. И, наконец, в нашу эпоху победы и развития гармоничных общественных форм судьба человека в большей степени освобождается от игнорирующих ее стихийных законов, и моральные принципы, динамически развивающиеся, становятся канонами поведения и силой, преобразующей науку, производство, культуру, определяющей цели науки, производства, творчества...»

В то же время проблема неисчерпаемости мира вызывает и ряд дискуссионных вопросов.

Если мир бесконечно разнообразен, то каково число фундаментальных физических законов?

Существует мнение, что бесконечное разнообразие окружающего нас мира предполагает и бесконечное число таких принципов.

Однако нередко высказывается и другая точка зрения, согласно которой бесконечное разнообразие физических явлений и условий в реальной Вселенной может

быть объяснено, исходя из конечного и даже весьма небольшого числа фундаментальных физических принципов.

В конце 1971 года в Бюраканской обсерватории проходила советско-американская конференция по внеземным цивилизациям. И одной из проблем, которую особенно оживленно обсуждали участники совещания, был вопрос о том, могут ли человечество и какая-либо инопланетная цивилизация, установив между собой контакт, понять друг друга.

Здесь мы вновь сталкиваемся с тем же вопросом: о числе основных принципов, с помощью которых можно объяснить окружающий мир. Если это число конечно и сравнительно невелико, то можно ожидать, что любая цивилизация, достигшая достаточно высокого уровня развития, должна овладеть ими. И тогда системы знаний о мире таких цивилизаций должны быть в основных чертах сходными.

Но если существует бесконечное количество фундаментальных принципов, то не исключена возможность, что различные цивилизации овладевают ими в разной последовательности. И при установлении контакта земного человечества с разумными обитателями какой-либо иной планеты вполне может оказаться, что к данному моменту «мы» и «они» владеем различными «наборами» таких принципов. И хотя и те и другие отражают вполне реальные свойства окружающего нас мира, системы знаний, построенные на их основе, могут оказаться настолько отличными друг от друга, что практически нельзя будет пайти никакой возможности перехода от одной системы к другой.

Разумеется, и в случае конечного числа принципов взаимопонимание может оказаться чрезвычайно сложным делом. Ведь принципы формулируются в определенной системе понятий, а понятия вырабатываются в процессе практической деятельности цивилизации и во многом определяются конкретными условиями, в том числе конкретными особенностями разумных существ и свойствами среди их обитания. Другими словами, может случиться, что «мы» и «они» говорим об одном и том же, но на разных «физических языках». Тогда придется искать правила перевода.

Но может случиться и так — мысль о подобной возможности высказал Зельманов, — что число основных

принципов зависит от характера избираемых понятий и в зависимости от этого оно может оказаться либо конечным, либо бесконечным.

Еще одна относительность бесконечности, но связанная на этот раз уже с самим процессом познания!

Вот какой узел принципиальнейших проблем завязывается при ближайшем рассмотрении вопроса о неисчерпаемости окружающего нас мира.



Чуть ли не ежедневно в Академию наук, в планетарии, в редакции журналов и газет приходят письма с просьбами ответить на вопрос, конечна или бесконечна Вселенная. А когда публикуется научно-популярная статья, посвященная проблемам геометрии мира, — она неизменно вызывает едва ли не самый интенсивный поток писем.

И вот что особенно любопытно. Еще несколько лет назад большинство вопросов, задаваемых авторами подобных писем, а также посетителями научно-популярных лекций, сводилось к уже знакомой нам классической альтернативе: «да» или «нет» — «конечна» или «бесконечна». Любой иной ответ воспринимался чуть ли не как свидетельство беспомощности современной науки.

А сейчас подобная постановка вопроса встречается все реже и реже. Гораздо чаще интерес вызывают те или

иные тонкости современной космологии, философская сторона проблемы.

И это знаменательно!

Это говорит о том, что дух современного естествознания, диалектический подход к изучению явлений природы становится не только достоянием современных ученых, но проникает и в широкие массы.

И это, вне всякого сомнения, одно из самых значительных и многообещающих последствий той всеобщей научно-технической революции, современниками которой все мы являемся.

И совсем не случайно, что особенно ярко все эти черты проявляются в связи с проблемой бесконечного вообще и бесконечности Вселенной в частности.

Может быть, именно здесь современное естествознание со всей очевидностью столкнулось с принципиально новой ситуацией.

— Получены очень важные результаты, особенно за последние десятилетия, — говорит академик Наан. — Единственное, пожалуй, чего нельзя сказать: что эти результаты окончательные, и, по-видимому, сколько будет существовать человечество, столько же времени будет развиваться и понятие бесконечности. Поэтому скорее всего на вопрос: бесконечна ли Вселенная? — никогда нельзя будет дать простой ответ «да» или «нет». Теперь стало ясно, что не существует такого универсального математического или физического эталона бесконечности, который мог бы отобразить все свойства реальной Вселенной. По мере развития знаний число известных нам типов бесконечности само будет расти беспредельно.

Аналогичную мысль высказывает и советский философ Э. М. Чудинов.

— В силу многообразия определений бесконечности, — говорит Чудинов, — нельзя дать однозначного ответа на вопрос, что следует понимать под бесконечностью пространства. Такой ответ зависел бы от того, какой тип пространства имеется в виду и под углом зрения каких свойств он рассматривается.

Что такое бесконечность пространства?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходимо, очевидно, выделить такие свойства, которые присущи только бесконечному пространству и которых нет у пространств конечных,

Однако и указание таких свойств все же не будет еще исчерпывающим определением бесконечного пространства.

В то же время сегодня уже нет никаких сомнений в том, что природа в самом деле обладает свойствами, которые отражаются в понятии бесконечности.

Совокупность этих свойств и может быть названа реальной бесконечностью Вселенной.

Таким образом, идея конечного и бесконечного прошла долгий и сложный путь — от умозрительных рассуждений древних греков и чисто математических изысканий XIX столетия до глубочайших выводов общенаучного характера, сделанных на основе всестороннего изучения свойств реального мира.

До сравнительно недавнего времени астрофизика и космология были пассивными потребителями чисто земной физики, используя для описания космических объектов и явлений физические теории, построенные на базе изучения земных процессов.

В последние десятилетия положение явно изменилось. Сегодня поставщиком принципиально новой информации, необходимой для дальнейшего развития проблемы конечного и бесконечного, становится лаборатория Вселенной.

И не исключено, что наступит такой момент, и, быть может, он уже не за горами, когда новые явления, обнаруженные в глубинах Вселенной, не только не найдут себе удовлетворительного объяснения в рамках существующих «земных» физических теорий, но станут основой для разработки новых более общих теорий.

Как подчеркивал в свое время В. И. Ленин, отдельное неполно входит в общее. Другими словами, в земных условиях заведомо проявляют себя далеко не все физические закономерности окружающего нас мира. Эти закономерности можно обнаружить только в космосе.

Не случайно многие известные современные физики проявляют все больший интерес к астрономии как к источнику все новых и новых оригинальных данных о закономерностях движения и строения материи. Они считают, что именно астрофизика рождает новую физику.

На протяжении многих веков астрономия была «лидером» естествознания. В частности, именно астрономические наблюдения послужили исходным фундаментом для открытия законов механики и закона всемирного тяго-

тения, то есть для построения основ классической физики.

В дальнейшем на первое место выдвинулась физика, создавшая такие основополагающие теории, имеющие принципиальное значение для понимания окружающего нас мира, как квантовая механика и теория относительности. Но в настоящее время благодаря развитию принципиально новых средств изучения космических явлений и выдающимся открытиям, сделанным в глубинах Вселенной, благодаря неограниченной возможности черпать уникальную информацию в бесконечно разнообразной лаборатории космоса, по-видимому, начинается новая эра в развитии естествознания — эра, в которой астрофизике будет принадлежать ведущее положение.

Это обстоятельство, отмечал академик Л. А. Арцимович, — имеет не только общенаучное, но и чисто практическое значение. В эпоху научно-технической революции, когда результаты фундаментальных естественнонаучных исследований служат мерилom могущества страны и показателем уровня развития культуры, сосредоточивать усилия и средства следует в первую очередь в таких научных областях, которым принадлежит ведущая роль.

Изучение бесконечности — одна из тех великих эпопей познания окружающего мира человеком, которая уже оказала революционизирующее влияние на многие важнейшие области естествознания, в первую очередь на астрономию, физику, философию, математику.

История науки показывает, что решение наиболее сложных фундаментальных проблем всегда вызывало к жизни немалое число «сопутствующих» открытий, оказывая заметное влияние на развитие смежных областей естествознания, человеческой мысли вообще и способствуя переходу на новые, более высокие ступени понимания природы.

Поэтому можно не сомневаться в том, что по мере дальнейшего проникновения в глубины Вселенной и выяснения ее физических и геометрических свойств наука будет совершать все новые, более фундаментальные открытия принципиального значения.

Но можем ли мы вообще делать какие-либо заключения о «Вселенной в целом»? Правомочна ли космология заниматься ее теоретическим рассмотрением?

Некоторые ученые считают, что на этот вопрос сле-

дует ответить отрицательно. Однако А. Зельманов по этому поводу весьма остроумно заметил:

— Парадоксальным образом отрицание правомерности учения о Вселенной в целом, основанное на каких бы то ни было соображениях о Вселенной, логически противоречиво, поскольку сами эти соображения можно рассматривать как элементы такого учения, а отрицание его правомерности исключает и правомерность упомянутых соображений.

Таким образом, можно не сомневаться, что дальнейшее изучение геометрических свойств и закономерностей Вселенной будет способствовать и все более глубокому пониманию мира, и всеобщему прогрессу естествознания.

А теперь пришло время вспомнить тот спор, о котором рассказывалось в начале этой книги, спор, разгоревшийся вокруг утверждения: «Мы знаем, что Вселенная бесконечна, но не знаем, в каком смысле...»

Как все же понимать эту парадоксальную фразу? Неужели долгие века настойчивых усилий философов, математиков, физиков и астрономов, стремившихся познать бесконечность, изучить ее свойства и закономерности, так и не припесли никаких результатов? Неужели все эти усилия в конце концов привели науку к «разбитому корыту», и она оказалась вынужденной бесславно капитулировать перед неуловимостью бесконечности?

Мы могли убедиться в том, что это не так. Человек не только понял неизбежность и реальность бесконечности, но и выяснил ее отличительные особенности, научился различать бесконечности, оперировать с ними, использовать их в математических и физических построениях и исследованиях.

Обобщая данные естествознания, философия диалектического материализма пришла к принципиальному выводу о неограниченности и неисчерпаемости материального мира. Этот вывод стал неотъемлемой частью материалистического мировоззрения.

Физика, астрофизика, космология, математика, изучая различные стороны и свойства Вселенной, обогащают эти представления новыми данными, наполняют их все более глубоким и разносторонним содержанием.

В частности, многое достигнуто в изучении проблемы бесконечности Вселенной. И прежде всего отчетливое понимание того, что геометрические свойства окружающего

нас мира тесно связаны с распределением материи, с физическими условиями в различных областях Вселенной, с физическими свойствами космических объектов.

Мы убедились также и в том, что материя бесконечна и в смысле своей вечности — песотворимости и неупичтожимости. Все данные естествознания свидетельствуют о том, что закон сохранения материи и движения занимает среди законов природы особое место. Природа, материя паходится в состоянии непрерывного движения и изменения. Но всякое изменение предполагает в соответствии с законами диалектики — наличие своей противоположности — сохранения. Именно это единство изменения и сохранения и порождает законы природы как определенные регулярности, проявляющиеся в движении материи. Таким образом, законы природы органически связаны не только с изменениями, но и с сохранением.

Все это убеждает нас в том, что сохранение не просто одна из рядовых закономерностей, а неотъемлемое свойство материи.

Наконец мы поняли, что бесконечно разнообразны явления и условия, происходящие и существующие в реальном мире, что каждое явление бесконечно вглубь, что бесконечен и процесс научного познания природы человеком.

В то же время стало ясно, что далеко не во всех случаях возможно прямое противопоставление конечного бесконечному, что те свойства окружающего мира, которые связаны с бесконечностью, чрезвычайно сложны и многогранны, и для их изучения потребуются еще усилия многих поколений ученых.

Однако это обстоятельство отнюдь не должно настраивать нас на пессимистический лад. Потому что наряду с бесконечным разнообразием и неисчерпаемостью материального мира существует еще одна, если можно так выразиться, оптимистическая бесконечность — безграничность познания природы человеком.



ОГЛАВЛЕНИЕ

ПО СЛЕДАМ БЕСКОНЕЧНОСТИ	5
Глава I. РОЖДЕНИЕ ИДЕИ	12
Неизведанными путями	12
Конечное и бесконечное	15
Древние греки и бесконечность	18
Бессмертные парадоксы	23
От Зенона до вакуума	30
Аристотель против атомистов	32
Глава II. ОТ НЬЮТОНА ДО КАНТОРА	36
Лейбниц против Ньютона	36
Снова кризис!...	45
Немного философии	49
Странный мир множеств	53
Третий кризис	59
Проблема континуума	67
Глава III. МАТЕРИЯ И ГЕОМЕТРИЯ	73
Когда Вселенной не было?.. . . .	73
Вселенная и бесконечность	83
От Аристотеля до Эйнштейна	88
Великая теория	91
Вселенная расширяется	102
Развенчание парадоксов	112
Попытка реванша	117
Глава IV. В НАШИ ДНИ	120
Новый этап	120
«Красное без расширения?»	124
Гравитация, коллапс и «черные дыры»	131

От парадоксов к парадоксам	139
«Вселенная Зельманова»	145
Маленький диспут	149
Еще раз о космологии	154
«Мега» и «Микро»	162
Заглянем в будущее	169
Неисчерпаемый, но познаваемый мир	178
БЕЗ КОНЦА И БЕЗ КРАЯ	185

Комаров Виктор Носвич

ПО СЛЕДАМ БЕСКОНЕЧНОСТИ

Редактор Н. Яснопольский

Художник Э. Берг

Худож. редактор В. Конюхов

Техн. редактор Т. Пичугина

Корректор Л. Соколова

А06722. Индекс заказа 37717. Сдано в набор 13/IX 1973 г. Подписано к печати 5/II 1974 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Бум. л. 3,0. Печ. л. 6,0. Усл.-печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 10,28. Тираж 100 000 экз. Издательство «Знание». 101 835, Москва, Центр, проезд Серова д. 3/4. Зак. 666. Цена 31 коп.

Киевская книжная фабрика республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, ул. Воровского, 24.







В. Н. Коняров

ПО СЛЕДАМ БЕСКОНЕЧНОСТИ

