

авторам представляется язык параметрической общей теории систем — язык тернарного описания.

В. П. Хютт в своем выступлении «Дополнительность и полифония (художественный метод Ф. Достоевского и методология Н. Бора)» высказал мысль, что полифония характеров героев Достоевского (термин Бахтина), дополняющих друг друга и в ансамбле выражающих идею Достоевского, допускает сопоставление с принципом дополнительности Бора.

В. А. Бажанов в сообщении «Принцип дополнительности Бора в аспекте интервальной семантики» обсуждал вопрос о том, что анализ абстрагирующей деятельности (с точки зрения так называемой интервальной семантики) естественным образом приводит к ситуациям, которые описываются принципом дополнительности Бора.

В. М. Свириденко в выступлении на тему «Дополнительность и инструментализм (по поводу попперовской критики концепции Бора)» не согласился с утверждением Поппера о тождестве принципа дополнительности с концепцией инструментализма. По мысли докладчика, концепция дополнительности в своеобразной форме выражает диалектику мышления современного естествознания, не совместимую с позитивистскими и постпозитивистскими стереотипами методологической рефлексии.

В прениях по докладам выступили Л. Я. Станис («Философский лейтмотив в развитии физики»), Б. Ф. Каримов («Взаимосвязь принципа „оборачивания метода“ К. Маркса и принципа дополнительности Н. Бора»), С. Г. Калиберда, В. Д. Арманд, А. Г. Егоров и др.

В заключение хотелось бы отметить высокий научный уровень большинства докладов. Докладчики рассказывали о новейших исследованиях в физике элементарных частиц, в квантовой механике, в астрофизике, в биологических и гуманитарных науках. Широкий диапазон научной деятельности Бора, его универсализм, культурный контекст его мышления отразились в том, что на симпозиуме нашли общий язык профессионалы в разных областях — физики, биологи, философы, историки и методологи науки, культурологи, социологи. Постоянно завязывались дискуссии и острые споры, носившие деловой и одновременно демократический характер. Благодаря демонстрации документальных фильмов о Боре, фотографий, чтению дневниковых записей и воспоминаниям многих людей, видевших Бора, беседовавших с ним, создавалось впечатление как бы непосредственного соприкосновения с великим человеком. В один из вечеров участникам симпозиума была показана опера «Архимед», которую видел Бор в 1961 г. на весеннем празднике физического факультета МГУ. В красочном представлении выступили и участники первой постановки «Архимеда».

А. Т. Григорьян, О. В. Кузнецова

СЕМИНАР ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

Б. М. БОЛОТОВСКИЙ

В ФИАНе состоялось тысячное заседание Общомосковского семинара по теоретической физике. Этот семинар был создан в 1956 г., и с тех пор уже почти 30 лет участники его еженедельно собираются, чтобы знакомиться с новостями, обсуждать проблемы, стоящие перед физикой, возможные пути их решения. Организатор и бессменный руководитель семинара в течение всех этих лет — акад. Виталий Лазаревич Гинзбург.

Современная наука не может развиваться без общения ученых. Но в прошлом, XIX в., личное общение исследователей играло сравнительно скромную роль в развитии науки. Международные конференции, например по физике, почти не проводились; в ряде стран собирались ежегодные съезды физиков, тематика этих съездов была, как правило, универсальной, т. е. докладывались работы по всем разделам физической науки. Крупный физик прошлого был кабинетным ученым, который творил в уединении, и его контакты с коллегами составляли малую часть его научной активности. Пожалуй, последним представителем великих ученых-одиночек был Альберт Эйнштейн; известно его высказывание о том, что лучшие условия для научных занятий дает место смотрителя маяка.

Общение физиков в прошлом веке осуществлялось в основном двумя способами: либо публикацией полученных результатов в физическом журнале (число таких журналов было невелико, и за ними легко было следить), либо путем переписки.

Статью в физическом журнале могли прочесть многие, эта статья могла получить развитие в работах других физиков и в последующих статьях. Но при таком общении темпы развития были очень медленными. Прямой обмен письмами между двумя учеными был нередко очень полезен для этих двух ученых, но обсуждение, проводимое в письмах, оставалось неизвестным научному сообществу.

XX век коренным образом изменил многое не только в науке, но и в жизни физиков. Революционным изменениям, в частности, подверглись и формы научного общения. За последние несколько десятилетий неминуемо возросло число научных журналов. Прочитывать их все одному человеку стало уже физически невозможно. Появилась специальная форма научной информации — реферативные журналы. Эти журналы регулярно выходят и содержат краткое изложение (рефераты) подавляющего большинства работ, опубликованных в мировой периодике по многим областям знания. Но при этом, например, издающийся в нашей стране реферативный журнал «Физика», хотя и содержит очень краткие рефераты статей из всех или почти всех физических журналов мира, имеет столь большой объем, что и с его помощью не так легко ознакомиться, хотя бы в общих чертах, с содержанием физических журналов. Поэтому ученый, как правило, не ставит перед собой задачи следить за всей научной информацией. Главное — это найти в потоке научной информации то немногое, что является для него существенным.

Неизмеримо возросло число научных съездов и конференций, внутренних и международных, причем все такие собрания уже, как правило, не являются универсальными по тематике. Они посвящены какой-нибудь одной и притом довольно узкой проблеме. Участие в съездах и конференциях очень важно для физика. Он имеет возможность ознакомить широкую аудиторию со своей работой, ответить на возникающие у слушателей вопросы и возражения, выслушать полезное обсуждение. Он также знакомится с докладами других ученых, принимает участие в обсуждении их работ. Очень важно,

что участники таких научных собраний получают доступ к самой свежей научной информации. Работа, доложенная на конференции, появляется в печати значительно позднее, и поэтому тот, кто на конференцию не поехал и доклада не услышал, узнаёт содержание доклада с большим запозданием, а это в ряде случаев может привести к досадной задержке в научной работе. Кроме того, очень важно само общение на конференции. Доклад, выслушанный на конференции, иногда больше даёт участнику, чем чтение статьи, написанной докладчиком и излагающей содержание доклада. При чтении статьи у читателя часто возникают вопросы, в которых приходится порою долго разбираться. Обратиться с этими вопросами к автору статьи, написав ему письмо, — дело, конечно, возможное, но выяснение неясных мест по переписке занимает много времени. Иное дело на конференции. Здесь участникам предоставляются уникальные возможности для выяснения и уточнения положительных результатов, а также (что не менее важно) для того, чтобы определить направление дальнейших поисков.

Ещё одной формой совместной научной работы являются так называемые школы. Слово «школа» в науке имеет много значений¹; здесь мы имеем в виду следующее. Несколько десятков квалифицированных физиков, занимающихся какой-нибудь одной сравнительно узкой проблемой, собираются в одном месте на срок порядка месяца. В течение этого времени они слушают один или несколько лекционных курсов по избранной тематике. Для чтения лекций приглашаются известные ученые, которые являются признанными авторитетами в данной области. Школы могут быть национальными или международными. В расписании каждой школы всегда выделяется время не только на лекции, но и на свободные обсуждения возникающих у слушателей вопросов, а также на личные контакты между участниками школы. Слушатели — участники школы — это, как правило, молодые физики, работающие в одной области. Школа предоставляет им возможность познакомиться друг с другом, а также и с лекторами — известными учеными. Такие личные связи очень полезны, так как они ускоряют научный рост и увеличивают продуктивность исследовательской работы.

Но и научные конференции, и школы не являются формами повседневного научного общения. Они созываются, как правило, один раз в год или раз в два года. Научному же работнику необходимо намного более частое общение. Конференции и школы — это общение для подведения некоторых итогов. Оно не заменяет необходимого рабочего, будничного общения.

Формой такого рабочего, будничного общения и является научный семинар. Семинар — это еженедельные собрания научного коллектива. Формально этот коллектив состоит из сотрудников лаборатории, отдела или какого-нибудь другого административного подразделения. Семинар обычно и называется по имени того подразделения, в котором он проходит: семинар оптической лаборатории, семинар криогенного сектора и т. д. Однако такое название вовсе не означает, что на семинар приходят только сотрудники своей лаборатории. На некоторые семинары приходят сотрудники нескольких или многих институтов, интересующиеся тематикой семинара, приходят студенты, для которых семинар — это еще не форма работы, а скорее учеба. На семинарах обсуждаются практически все, что имеет отношение к избранной тематике — статьи, опубликованные в отечественной и зарубежной периодике, работы, выполненные участниками семинара, доклады ученых, приглашенных «со стороны» (т. е. таких, которые не являются участниками семинара, но результаты чьих работ представляют интерес). Заслушиваются здесь отчеты о научных командировках (и зарубежных, и отечественных), отчеты о конференциях. Нередко доклады носят информативный, а то и просто учебный характер, помогают оживить забытые знания или знакомят с новыми направлениями в науке. Словом, семинар — это одновременно и конференция, и школа, и повседневная работа, и учеба, и личные контакты, и регулярный источник информации, и мн. др. Добавим еще, что хороший семинар — это школа во всех смыслах слова, т. е. место, где происходит и обучение, и воспитание, и формирование научного и нравственного облика ученого.

За многие годы научной работы мне приходилось бывать на многих семинарах. Запомнились семинар И. Е. Тамма в Физическом институте им. П. Н. Лебедева (ФИАН) — первый научный семинар в моей жизни, на который я попал еще студен-

¹ См.: Школы в науке. М.: Наука, 1977.

том, семинар В. И. Векслера — тоже в ФИАНе, семинар Л. Д. Ландау в Институте физических проблем. Об этих семинарах у меня сохранились яркие впечатления, не потускневшие и сейчас, спустя уже много лет. Эти семинары отличались по численности и составу участников, по тематике, по принятому порядку проведения. Семинары отличались друг от друга так же, как и их руководители, каждый из которых был яркой индивидуальностью, по-своему учился сам и по-своему учил молодежь.

Семинары не всегда играли столь большую роль в научной работе. Расцвет этой формы научной работы начался, по-видимому, после первой мировой войны и совпал (если говорить о физике) с рождением и развитием нового физического знания — теории относительности, квантовой теории, физики ядра. В те годы все больше возрастала роль научных коллективов и даже всего научного сообщества в развитии нового знания. Научные семинары, как оказалось, были очень удобной формой коллективной научной работы.

После этого довольно большого, но необходимого отступления перейдем теперь к истории семинара В. Л. Гинзбурга.

Этот семинар начал свое существование в 1956 г. В то время в теоретическом отделе ФИАНа работал семинар И. Е. Тамма, посвященный квантовой теории и ядерной физике. В. Л. Гинзбург активно участвовал в работе этого семинара, но он много времени уделял исследованиям в других областях физики, лежащих вне тематики семинара. Сотрудники возглавляемого им сектора также работали в таких областях физики, которые не могли регулярно обсуждаться на семинаре И. Е. Тамма. Однако систематические обсуждения были необходимы и В. Л. Гинзбург решил организовать небольшой семинар для обсуждения текущей тематики своего сектора.

На первых заседаниях семинара присутствовали пять — семь человек. Это были сотрудники сектора Г. Ф. Жарков, Л. В. Келдыш, С. И. Сыроватский, В. П. Силин. С первого дня участником семинара стал Д. А. Киржниц, тогда входивший в состав сектора И. Е. Тамма. На семинаре присутствовали также аспиранты отдела Р. Н. Гуржи, И. И. Иванчик и еще один — два человека, в том числе и автор этих строк, на которого В. Л. Гинзбург возложил обязанности секретаря. На первом заседании В. П. Силин рассказал о работе Боме и Пайнса «Описание квантовой плазмы с помощью коллективных переменных», на другой выступил Д. А. Киржниц с докладом о квантовых поправках в методе Томаса — Ферми. На следующих заседаниях семинара обсуждались вопросы, связанные с кинетикой электронов проводимости в металле (аномальный скин-эффект, проводимость тонких пленок и проволок, сверхпроводимость, поглощение света и т. д.). Рассматривались также вопросы физики полупроводников, физики плазмы, астрофизики, физики космических лучей, задачи теории излучения заряженных частиц, распространение электромагнитных волн. Это перечисление можно было бы еще продолжить, потому что научные интересы руководителя семинара очень широки. Кратко можно сказать, что на семинаре обсуждались работы из всех разделов физики, кроме физики ядра и квантовой теории поля; хотя это было бы не совсем верно, потому что многие новости из этих последних разделов также докладывались и обсуждались на семинаре. В дальнейшем мы еще остановимся на вопросе о тематике семинара. Пока же скажем, что первые заседания семинара были посвящены темам, над которыми непосредственно работали участники семинара. Мы рассказывали о своих работах или работах других авторов по той же тематике, обсуждали услышанное, В. Л. Гинзбург с большим вниманием и интересом выслушивал каждого докладчика, по ходу изложения делал замечания, задавал вопросы. Такое же право было предоставлено и другим участникам. В конце каждого доклада В. Л. Гинзбург в кратком и ясном выступлении подводил итоги. Обычно он говорил несколько слов о состоянии проблемы, которой был посвящен доклад; потом столь же кратко оценивал результаты доклада; и, наконец, в немногих словах упоминал о тех задачах, которые еще предстояло решить для того, чтобы разобраться в проблеме.

Обстановка на семинаре с первых заседаний была непринужденная, естественная. У докладчика не было опасения, что вот сейчас он ошибется и тогда его разругают и высмеют, и больше его докладов ставить не будут. Наоборот, довольно быстро всем стало ясно, что после сделанного доклада уровень понимания, как правило, повышается, не только у остальных участников семинара, но даже у докладчика. Этому способствовала и свободная дискуссия (ограниченная, правда, временем, которое отво-

дилось на одно заседание), и заключительное слово В. Л. Гинзбурга, и вся обстановка семинара, доброжелательная, нацеленная на выяснение истины. Ничего личного в дискуссии не вкладывалось, на семинаре царил деловая обстановка.

С первого дня работы семинара В. Л. Гинзбург приходил на все заседания с «амбарной книгой» — большой тетрадь в картонном переплете. В эту книгу он записывал то, что считал интересным и важным для себя. Он работал на семинаре и относился к этой работе столь же серьезно, как и ко всему, что имело отношение к научной работе.

Забегая вперед, скажу, что и теперь, после тысячи заседаний, руководитель семинара В. Л. Гинзбург сидит впереди, правда, уже не с «амбарной книгой», а с небольшой тетрадкой на коленях, внимательно слушает докладчика и записывает то, что считает важным.

Мне как секретарю семинара В. Л. Гинзбург поручил вывешивать объявления с повесткой дня на доску объявлений Института. Я тогда не понимал, зачем это было нужно. На семинар собирались сотрудники одного небольшого сектора, они все и так знали, кто и о чем будет рассказывать, а остальным семинар вроде бы был неинтересен. Каюсь, первые несколько недель (или даже месяцев) я не понимал, зачем вообще нужен этот семинар. Пользы для себя я не предвидел (ибо был молод и, следовательно, глуп) и даже думал, что В. Л. Гинзбург организовал этот семинар для того, чтобы лучше знать, чем занимаются сотрудники его сектора. Но тем не менее все указания В. Л. Гинзбурга исполнял: заблаговременно вывешивал объявления о семинаре, завел тетрадь, куда заносил краткие отчеты о каждом заседании.

Семинар начался весной 1956 г. Летом наступил двухмесячный перерыв. С сентября заседания семинара возобновились. И вскоре на семинар стали приходить гости. Оказалось, что повестки люди читали и тематика семинара их заинтересовала.

Первые гости оказались даже не из нашего Института, а из расположенного по соседству Института кристаллографии. Это были Б. Н. Гречушников, В. Л. Инденбом, А. А. Чернов. Слово «гости» здесь не совсем подходит. Они с первого дня стали равноправными участниками.

На семинар стали приходить и сотрудники из других лабораторий ФИАНа. Из года в год число участников непрерывно росло, а «география» непрерывно расширялась. В первые же годы на семинар стали ездить физики из Пахры, Обнинска, Зеленограда, Горького, не говоря уже о сотрудниках ряда московских институтов: МИФИ, ИТЭФ, МГУ, МФТИ и др. Чем дальше, тем все больших размеров помещение требовалось для заседаний семинара. Первоначально семинар собирался в одной из маленьких комнаток теоретического отдела. Затем эта комнатка перестала вмещать всех желающих, и семинар перебрался в комнату попросторнее. Затем и она стала тесной, семинар перешел в колонный зал ФИАНа — довольно большое помещение, которое вскоре, однако, оказалось мало. Уже много лет семинар проводится в конференц-зале ФИАНа — самой большой аудитории в Институте. Теперь число постоянных участников семинара составляет примерно две сотни человек. Физики внимательно следят за объявлениями об очередном семинаре, звонят в Отдел теоретической физики ФИАНа, чтобы узнать заранее повестку дня. На некоторые доклады приходят до 400 человек. Конечно, все присутствующие не могут принять участие в обсуждении, не могут даже задавать вопросы. Если каждый задаст только один вопрос, то получится несколько сот вопросов и не получится никакого обсуждения и никакого семинара. Однако ничего подобного на семинаре ни разу не случилось. Дело в том, что у большинства слушателей возникают одни и те же вопросы, замечания или возражения, и кто-нибудь один задает вопрос, на который многие ждут ответа. Подавляющее большинство присутствующих на семинаре принимает участие в его работе лишь как слушатели. Они молча слушают доклады и комментарии, следят за дискуссиями. Для них семинар — это место учебы, место получения новой информации, и, кроме того, еще и зрелище. Потому зрелище, что заседания семинара идут очень живо, доклады, как правило, интересны, а неинтересные доклады оживляются замечаниями В. Л. Гинзбурга и других активных участников. Руководитель семинара следит за тем, чтобы каждый доклад был понятен слушателям. Если возникает опасение, что докладчик утратил связь с аудиторией, В. Л. Гинзбург прерывает доклад и в немногих словах разъясняет сказанное докладчиком. Его разъяснения, как правило, восстанавливают понимание. Очень велика польза

для слушателей и от последующего обсуждения доклада. В обсуждении принимают участие специалисты, остальные слушают и, как говорится, мотают на ус. Велика польза для слушателей и от заключительных замечаний В. Л. Гинзбурга (уже говорилось о том, что эти замечания нередко в равной мере полезны и докладчику).

Все сообщения на семинаре — это новости, как говорится, с переднего края, многие сообщения по литературе — репортаж о точках роста теоретической физики. Но не менее важно и то, как этот материал подается и обсуждается.

За многие годы на семинаре сформировалась группа активных (или, если угодно, ведущих) участников. Они чаще других задают вопросы, высказывают свое мнение при обсуждении, и все их внимательно слушают. Они чаще других выступают с докладами. Если условно принять число всех участников семинара за 200 человек (иногда это число больше, иногда меньше), то число активных участников, так сказать, ядро семинара, составляет примерно человек 20. Как правило, они сидят в первых рядах, и, как правило, активность их обусловлена тем, что эти люди лучше и больше знают физику, чем остальные участники. Для активных участников семинар — это и работа и учеба, а кроме того, они еще и учат других, их выступления и замечания приносят большую пользу всем. «Активную зону» семинара составляют в основном сотрудники Отдела теоретической физики им. И. Е. Тамма, но в числе активных участников есть и сотрудники других лабораторий ФИАН, и сотрудники других институтов, регулярно посещающие семинар. Все они известные ученые, признанные авторитеты в своей области.

Посещение семинара для сотрудников сектора, возглавляемого В. Л. Гинзбургом, было с первых дней обязательным. Теперь такой жесткой обязательности нет, но руководитель семинара, заметив отсутствие того или иного сотрудника, иногда высказывает сожаление: вот, имярек не пришел сегодня а доклад как раз имеет отношение к его работе. Впрочем, на семинар ходят с охотой. Это доказывается тем, что число добровольных посетителей на порядок или больше превышает число тех, для кого присутствие на семинаре обязательно.

На каждом заседании семинара первые 15—20 мин посвящаются кратким сообщениям из текущей литературы. Таких сообщений обычно бывает несколько. Затем следуют оригинальные или реже обзорные доклады. Заседание продолжается 2 часа, с десятиминутным перерывом в конце первого часа. Как правило, за это время успевают выслушать и обсудить два доклада, иногда и больше. Нередко случается так, что обсуждение первого из докладов затягивается, и тогда второй доклад переносится на следующее заседание, где он автоматически становится первым.

Как вырабатывается повестка дня семинара? У одного из секретарей семинара (уже много лет секретарем семинара является А. Г. Молчанов; ему помогает Е. Г. Максимов и с недавнего времени — С. В. Буланов), имеется список заявленных докладов. Любой участник семинара, если ему есть о чем рассказать (или он думает, что ему есть о чем рассказать), может подойти к секретарю и записаться — сообщить тему доклада, свою фамилию, адрес и номер телефона (чтобы можно было его найти, когда доклад будет назначен). Каждый раз, когда определяется программа очередного семинара, В. Л. Гинзбург просматривает список заявок и определяет, кому докладывать. Строгой очередности при этом не соблюдается. Некоторым авторам приходится ждать больше, другим — меньше. Это определяется многими факторами — преимущественной тематикой семинара, злободневностью заявленной работы, в какой-то степени репутацией автора и рядом других причин. При таком способе отбора докладов важно, чтобы уровень доклада соответствовал традициям семинара (т. е., проще говоря, чтобы доклад был доброкачественным). Слабый доклад на семинаре — это потеря времени для всех его участников. На семинаре выработался следующий метод отбора. Доклад ставится в повестку дня лишь в тех случаях, когда докладчика и его работу знают либо сам В. Л. Гинзбург, либо один из ведущих участников, и если они рекомендуют включить заявленный доклад в повестку дня. Такой метод отбора является, как правило, надежным, хотя за многолетнюю историю семинара бывали на нем и слабые доклады (мало-содержательные или ошибочные). Несколько раз мне приходилось видеть отношение руководителя семинара к таким докладам и к докладчикам. Он, как всегда, слушает внимательно, делает ряд доброжелательных замечаний, направленных на устранение недостатков. Докладчик извлекает для себя много ценного и порою даже не подозре-

вает, что сделал слабый доклад. Но тому, по чьей рекомендации доклад был включен в повестку дня, руководитель семинара обычно указывает, что впредь нужно строже относиться к отбору докладов. Но, повторяю, за всю историю семинара так было всего несколько раз. В основном принятый метод отбора действует удовлетворительно.

О семинаре можно говорить много и еще многое добавить к сказанному. Возможно, что это представляет интерес для исследователя-научоведа, которого интересуют формы научной работы вообще и научный семинар в частности. Но для меня семинар В. Л. Гинзбурга — это нечто большее. Это два с половиной десятка лет научной работы. И в течение этого времени — еженедельный семинар, место работы, учебы, место встречи с друзьями, место знакомства с новыми физическими работами и с новыми идеями. Семинары рождаются, живут и умирают. Надеюсь, что семинару В. Л. Гинзбурга суждена еще долгая жизнь.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МАКСВЕЛЛА КАК МЫСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Ю. Л. МЕНЦИН

Построение и исследование всевозможных механических моделей занимают значительное место в максвелловских работах по теории поля. В связи с этим анализ роли механических моделей принципиально важен для исторического анализа трудов Максвелла. Однако несмотря на значительное число работ, посвященных этой теме, роль механических моделей в трудах ученого по-прежнему далека от ясности и продолжает вызывать оживленные дискуссии, отражающие, на наш взгляд, противоречивость использования этих моделей самим Максвеллом.

Действительно, буквально во всех своих работах Максвелл предостерегает от отождествления этих моделей с физической природой наблюдаемых электромагнитных, оптических и других явлений¹. Эти указания Максвелла, а также подчеркнуто условный и грубый характер моделей позволили уже Л. Больцману [1] и А. Пуанкаре [2] отбросить мысль о том, что Максвелл пытался отождествить законы электромагнитных явлений с движением весоных тел².

Напротив, Максвелл считал, что благодаря исследованиям электромагнитных и других явлений наука вступила в этап глубочайших качественных изменений, когда «каждый новый закон будет не только раскрывать новые области в науке, но и менять представления людей о том, какими должны быть сами законы природы... Мы должны остерегаться „предвосхищать природу“, предполагая в своих рассуждениях, ...что такие высшие, пока неизвестные нам законы можно сформулировать в той же форме, что и более простые, нам уже известные» [9, с. 377].

Максвелл категорически отвергает переход к чисто математическому описанию действительности³, считая, что при этом «мы совершенно теряем из виду объясняемые явления и потому не можем прийти к более широкому представлению об их внутренней связи, хотя и можем предвычислять следствия из данных законов» [10, с. 12]. Более того, он настаивает на том, чтобы ученый постоянно сохранял связь с наглядными механическими моделями, так как эти модели могут вести к углублению наших знаний о физической природе изучаемых явлений.

Так, рассматривая в «Трактате» явление самондукции, Максвелл указывает, что идея, возникающая первоначально у экспериментатора об аналогии электрического тока

¹ Чтобы подчеркнуть независимость этих моделей от физических гипотез о природе явлений, Максвелл называет свои механические построения аналогиями, научными метафорами, иллюстрациями явлений.

² Взгляды Больцмана и Пуанкаре вполне разделяются современными исследователями (см., например, [3—8]).

³ Что лишает нас права видеть *конечную* цель теоретических работ Максвелла в получении каких-либо обобщающих уравнений. Тем не менее именно эта цель явно или неявно приписывается Максвеллу многими исследователями (см., например, [4—6]). При этом механические модели рассматриваются как чисто эвристические образы, позволившие Максвеллу «угадать» свои уравнения.

некоторому количеству движения в проводе, несовершенна. Величина искры при размыкании проводника зависит не только от величины тока, протекающего по этому проводнику, но и от конфигурации проводника, его длины, наличия поблизости других тел, что не похоже на количество движения, например, потока жидкости в трубе (там же, с. 407—409).

«Однако,— продолжает Максвелл,— для ума, который однажды усмотрел аналогию между явлениями самоиндукции и явлениями движения материальных тел, трудно совершенно отказаться от помощи этой аналогии или допустить, что эта аналогия имеет совершенно поверхностный характер и ведет нас по неправильному пути. Фундаментальная динамическая идея материи, способной благодаря своему движению становиться резервуаром количества движения и энергии, так *переплетена с нашими формами мышления*, что, когда мы усматриваем намек на нее в любой части природы, мы чувствуем, что перед нами открывается путь, который рано или поздно приведет к полному пониманию существа предмета» (выделено нами.— Ю. М.; там же, с. 409).

Чтобы понять, в силу чего подобные аналогии могут, по мысли Максвелла, вести к познанию физической природы явлений, попытаемся определить характер теоретизирования Максвелла, т. е. определить, что именно означало для Максвелла исследовать явления *теоретически*.

Из приведенного отрывка видно, что механическое понятие количества движения Максвелл относит вообще-то не к самой действительности (физической природе тока или какой-либо окружающей его субстанции), а к *механическим* идеям (образам), возникающим при экспериментальных исследованиях действительности. При этом необходимость использования подобных механических идей обусловлена для Максвелла не тем, что «так устроен мир», а тем, что так, «механически» устроено мышление человека, постигающего этот мир. Поэтому главную задачу своей теории Максвелл видит не в выдвижении физических гипотез о структуре субстанции (поле), передающей взаимодействие, и не в подборе обобщающих формул, а в выявлении и развитии этих механических идей (точнее, понятий) путем построения и исследования специальных механических моделей или методами аналитической механики.

При анализе теории Максвелла принципиально важно учитывать, что его механические, а также математические и аналитико-механические построения не являются привычной физической теорией, объясняющей или объединяющей (формулой) явления, открытые экспериментально. Работы Максвелла, и это подчеркивается им, носят все время предварительный характер. Цель этих работ — подготовить исследователя (теоретика или экспериментатора) к возможности новых путей исследования, не связывая их при этом никакими конкретными гипотезами, которые им следовало бы проверять для дальнейшего развития теории⁴. Так, теорию движения идеальной жидкости, развиваемую в работе «О фарадеевых силовых линиях», Максвелл считает не физической гипотезой о сущности электро- и магнитостатических явлений, а «чисто геометрической идеей», не имеющей ничего общего с реальными жидкостями: «Сводя все к чисто геометрической идее движения воображаемой жидкости, я надеюсь достигнуть общности и точности и избежать тех опасностей, которые возникают при попытке с помощью преждевременной теории объяснить причины явлений. Предлагаемые мною рассуждения выполняют свое назначение, если будут полезны физикам-экспериментаторам при классификации и наглядном истолковании найденных ими результатов» (там же, с. 17).

Считая, что физика стоит на пороге качественных изменений, Максвелл постоянно озабочен разработкой (или подготовкой разработки) новых путей ее развития, более адекватных изучаемым явлениям. При этом чисто экспериментальный и чисто математический методы исследований представлялись Максвеллу односторонними и ограниченными, так как, по его мнению, чистые математики и чистые экспериментаторы тратят слишком много умственной энергии на математические тонкости и непрерывное нара-

⁴ Характеризуя особенности построения максвелловского «Трактата об электричестве и магнетизме», А. Пуанкаре писал, что читателю «предлагается пустая форма, почти лишенная содержания, которая с первого взгляда производит впечатление чего-то неопределенного и неуловимого. Однако усилия, которые он, таким образом, вынужден делать, будят его мысль, и в конце концов он поймет, насколько зачастую были искусственны те теоретические построения, которыми он иной раз так восхищался» [2, с. 418].

щивание точности измерений, не оставляя свободного времени для развития «более высоких форм мышления». Исследователи обоих типов «позволяют себе приобретать неплотворную фамильярность с фактами природы, не пользуясь возможностями актуализировать те резервы мышления, которые способно пробуждать каждое новое явление природы» [11, с. 325].

Максвелл пишет, что должен быть третий путь развития физики, в котором каждый раздел науки рассматривался бы не как коллекция фактов, объединенных формулой, но как основа для развития новых идей. «Каждая наука должна иметь свои фундаментальные идеи — образы мысли, посредством которых процесс наших догадок приводится в наиболее совершенную гармонию с процессом природы» (там же). При этом, считает Максвелл, для пробуждения «резервов мышления» и формирования неких «фундаментальных идей» (по сути, для развития понятийного аппарата физики) исследователь должен как можно активнее опираться на наглядные механические образы (там же) ⁵.

Чтобы понять, почему Максвеллу потребовалось развивать некоторые новые фундаментальные идеи, рассмотрим, хотя бы в общих чертах, особенности той проблемы, которая возникала при исследовании электромагнитных и других явлений, не сводимых к наблюдаемому перемещению весовых тел в результате их взаимодействия.

Коротко эту проблему можно охарактеризовать как невозможность *прямого* применения законов движения Ньютона при проведении экспериментов и анализе их результатов с целью определения закона действующей силы. Такой путь исследования требовал четкого разделения явления на движущееся тело и причину изменения этого движения (другое тело или тела), что было невозможно, например, при изучении процесса превращения магнитной силы в электрическую (явление электромагнитной индукции), в котором характер и законы движения носителей электричества были неизвестны и недоступны прямому экспериментальному исследованию.

По сути, при исследовании подобных явлений ученый был лишен привычного понятийного аппарата, определяющего, что и на основании каких законов он изучает. Поэтому изучение подобных явлений часто сводилось к феноменологическому описанию весьма сложных зависимостей. Например, в явлении электромагнитной индукции величина тока во вторичной цепи оказывалась зависящей не только от скорости изменения тока в первичной цепи, но и от взаиморасположения и конфигурации обеих цепей. Кроме того, изменяющийся ток во вторичной цепи влиял на ток в первичной цепи. Причина и следствие оказывались как бы «размазанными» в пространстве, практически неотделимыми одна от другой.

Можно было попытаться строить физические гипотезы о природе тока или о свойствах какой-либо субстанции, передающей взаимодействие, и затем при помощи уравнений движения выводить из этих гипотез определенные следствия. Однако экспериментальное подтверждение этих следствий давало, по мнению Максвелла, лишь вероятностное подтверждение данной гипотезы и требовало введения дополнительных гипотез, физический смысл которых был неясен (например, допущение зависимости силы взаимодействия зарядов от величины их относительной скорости в законе Вебера).

«Истинный путь физического обоснования, — указывает Максвелл, — состоит в том, чтобы начать с явлений и вывести из них силы путем прямого применения уравнений движения. Трудность при таком подходе заключается до сих пор в том, что мы наталкиваемся, по крайней мере во время первых стадий исследования, на столь неопределенные результаты, что не имеем достаточно общих членов для выражения их без введения какого-нибудь понятия, не выводимого строго из наших предпосылок.

Поэтому очень желательно, чтобы люди науки изобрели какой-нибудь метод утверждения, благодаря которому представления, настолько точные, насколько они могут быть, могли бы быть доведены до ума и в то же время были бы достаточно общими, чтобы можно было избежать введения неоправданных деталей» [12, с. 309].

⁵ В «Трактате» Максвелл указывает на необходимость перевода математических методов «Аналитической механики» Лагранжа на наглядный язык динамики, так как «нашей целью является как раз совершенствование наших динамических идей». Необходимо, по мнению Максвелла, «чтобы наши слова могли бы вызывать мысленный образ не алгебраического процесса, но какого-либо свойства движущихся тел» [10, с. 413].

Для понимания особенностей максвелловской теории поля очень важно учитывать, что проблематика изучения электромагнитных явлений была воспринята Максвеллом как задача разработки новых теоретических основ исследования, которые уже не требовали бы сведения явлений к движению и взаимодействию материальных точек (например, в концепции сил Вебера).

Но отказываясь от представлений о фундаментальности механического движения материальной точки и пытаясь развить новые идеи движения (энергии, импульса), адекватные изучаемым явлениям, ученый попадал в порочный круг. С одной стороны, такую теорию движения следовало развивать на основе новых экспериментальных исследований, с другой — сами эти исследования требовали новой теории, способной (до опыта!) определять, как именно новое явление может служить основой для обобщения идей движения.

Чтобы такая теория могла функционировать, обобщение понятий (по Максвеллу, фундаментальных идей) движения должно было бы все время отталкиваться от ясных понятий, не требующих опытной проверки (какую требовали физические гипотезы). В противном случае мы непонятное объясняли бы непонятным и в лучшем случае могли бы накапливать эмпирические закономерности.

Систему таких ясных (фундаментальных) понятий представляла механика весомых тел. Поэтому задача Максвелла состояла в том, чтобы научиться развивать механические понятия, отталкиваясь от понятий... самой механики. Но по отношению к изучаемым явлениям механические понятия уже не рассматривались как фундаментальные и сами требовали обобщения. Поэтому при теоретическом анализе явлений требовалось выделить такую предметную область, в которой применение механических понятий носило бы все-таки точный характер, не нуждаясь в опытной проверке.

Методом решения этих проблем стала максвелловская концепция *физической аналогии*⁶.

Механический образ, предлагаемый Максвеллом, позволял при исследовании нового явления пользоваться хорошо известными понятиями, не связывая при этом его никакими физическими гипотезами о природе явлений, так как относился этот образ к *процессу проведения экспериментов*, в которых обнаруживалось данное явление. Тем самым внимание исследователя переключалось с проблемы выдвижения физических гипотез о внутренней природе изучаемых явлений на анализ того, *подобно чему* может изучаться это явление (подобно потоку несжимаемой жидкости, механизму, волновому движению и т. п.).

Переход к такому анализу был «подсказан» Максвеллу особенностями экспериментальных исследований (прежде всего Фарадея), в ходе которых становилось принципиально важным уметь изучать явление не только как ту или иную пондеромоторную силу, но и как *процесс* взаимопревращения сил (например, магнитной в электрическую в явлении электромагнитной индукции), не задаваясь при этом вопросом о физической природе этого процесса⁷.

Именно при изучении подобных явлений исследователи учились пользоваться механическими понятиями «как если бы», не рассматривая их как физические гипотезы о природе явлений. Сопоставляя при этом механические образы, относящиеся к различ-

⁶ Уже в первой работе по теории поля «О фарадеевых силовых линиях» Максвелл указывает на необходимость «найти такой метод исследования, который на каждом шагу основывался бы на ясных физических представлениях, не связывая нас в то же время какой-нибудь теорией, из которой заимствованы эти представления, благодаря чему мы не будем отвлечены от предмета преследованием аналитических тонкостей и не отклонимся от истины из-за излюбленной гипотезы» [10, с. 12]. Таким методом Максвелл считал построение физических аналогий.

⁷ Так Фарадей подчеркивает, что идеи о сохранении числа силовых линий, пронизывающих контур проводника (т. е. их поведение подобно потоку несжимаемой жидкости), не связаны с какими-либо гипотезами о физической природе силы в месте ее действия и могут применяться при описании и исследовании явлений, какова бы эта природа ни была [13, с. 565]. Вопрос о физической природе магнитной и электрической сил, а также их взаимосвязи Фарадей оставляет открытым. Для него пока важно научиться исследовать явление электромагнитной индукции *адекватно* главной особенности этого явления — зависимости от распределения магнитных сил в пространстве, окружающем проводник с током.

ным явлениям, и исследуя те условия, в которых эти образы могут совпасть, можно обнаружить условия, в которых в качестве модели процесса эксперимента выступит уже не механический образ, а другое явление. Но тем самым мы можем прийти к открытию физической связи двух явлений и, следовательно, к углублению понимания их природы⁸.

Применение и анализ механических аналогий расширяют возможности исследователя, позволяют ему выделить любой промежуточный этап экспериментального процесса и подвергнуть специальному анализу, не теряя при этом наглядной связи с изучаемым явлением. Так постепенно открывается путь к формированию тех фундаментальных идей, которые, по мысли Максвелла, позволяют в каждом классе явлений сделать наши методы исследований адекватными изучаемой действительности, следовать логике явлений, не стараясь свести их во что бы то ни стало к обычной механической силе.

Но это только одна сторона функционирования механических образов, объясняющая, почему Максвелл стремился все время перевести свои математические исследования на наглядный язык механики.

В то же время в результате максвелловских исследований новые явления превращались в своеобразные мысленные эксперименты над понятиями механики, выявляющие возможность обобщенного понимания движения, силы и энергии.

Анализируя свои модели, Максвелл показывает, что уже в гидродинамике, теории упругости, теории механизмов, аналитической механике и т. д. мы имеем дело по сути с обобщенными понятиями механики, хотя и можем свести их к обычным понятиям. Например, поток жидкости можно описывать, рассматривая движение отдельных частиц, а можно, не учитывая этих составляющих движений, измерять количество жидкости, проходящее через какую-либо площадку. Нечто подобное происходит, по мнению Максвелла, в экспериментальных исследованиях электромагнитных явлений (см. [15]), ставящих перед собой задачу обойти вопрос о конкретной структуре этих явлений и находящих предпосылки этого решения в различных механических системах.

Можно было попытаться зафиксировать это обобщенное применение механических понятий, выявить физический смысл того или иного обобщения, рассматривая уже экспериментально изучаемое явление как аналогию механике. Обобщенный характер движения потока жидкости или сложного механизма приобретает в результате такого соотнесения смысл *физической* проблемы, придавая реальным экспериментам характер мысленных экспериментов над понятиями механики.

Полностью характер мысленных экспериментов построения Максвелла приобретают при переходе к чисто математическому анализу, фиксирующему и продолжающему обобщение механических понятий, начатое механической аналогией. При этом математические операции (ротор, дивергенция), ведущие к тем или иным уравнениям в частных производных, выступают уже как аналогии механической модели-анalogии, например возможность заменить интегрирование по объему поверхностным интегралом в теореме Гаусса или интегрирование по поверхности криволинейным интегралом по контуру, охватывающему эту поверхность в теореме Стокса.

Именно применение этих математических методов позволяет Максвеллу осуществить «необратимое» обобщение механических понятий, невозможное в рамках самой механики.

Однако для восстановления связи с реальными процессами экспериментирования Максвеллу приходится вновь и вновь переводить свои уравнения на язык механики. В свою очередь отклонение реального явления от идеальной, не несущей в себе ничего гипотетического, модели должно быть в теории Максвелла понято как новая, столь же

⁸ Чтобы подчеркнуть взаимообогащающий характер такого открытия, Фарадей озаглавил свое сообщение об открытии вращения плоскости поляризации в магнитном поле так: «О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий» [13, с. 11]. Максвелл указывает, что принципиально важным в этом открытии было специальное изучение Фарадеом вращательного характера магнитных сил тока и изучение вращения плоскости поляризации в различных средах, что подсказало методы поиска и характер связи магнетизма и оптики [14, с. 212—214].

идеальная модель, выступающая одновременно как новый этап обобщения механических понятий и как продолжение анализа процессов проведения реальных экспериментов на языке механики.

Важно отметить, что идеи обобщенного движения относятся не к частям, из которых построена та или иная модель-аналогия, а к модели в целом. В этом плане модель выступает принципиально неделимой, ее бессмысленно детализировать как физическую гипотезу. Модель перестраивается целиком, заменяется новой, позволяющей продолжить то обобщение понятий, которое содержалось в старой модели, и тем самым охватывать новые классы явлений.

При этом аналогии (целостные образы движения) подготавливают «отрыв» понятий движения (энергии, импульса) от движения материальных тел, подготавливают формирование понятия *поля* как особой субстанции, принципиально несводимой к механике материальных точек и изменяющей наши представления о структуре физической реальности. В отличие от каких-либо эфиров поле вводится Максвеллом не как некая гипотетическая субстанция для объяснения результатов эксперимента, а как теоретическая основа нового метода исследования действительности, так что место материальной точки как элемента реальности заняло электромагнитное поле [16, с. 56].

Нам представляется, что анализ механических моделей как мысленных экспериментов позволит лучше понять характер тех идеализаций, с помощью которых Максвеллу удалось разработать физическое понятие, именно понятие электромагнитного поля, сыгравшее фундаментальную роль в становлении немеханической картины мира. Этот анализ должен включать в себя: а) изучение тех теоретических проблем, которые возникли при попытке исследования явлений на основе концепции близкодействия; б) изучение особенностей экспериментальных исследований явлений, подсказавших Максвеллу форму связи его теории с механикой и математикой (это прежде всего экспериментальные исследования Фарадея, труды которого Максвелл рассматривал как логическую основу своей теории); в) изучение механических и математических построений Максвелла как единого мысленного эксперимента, с помощью которого Максвеллу удалось раскрыть возможность теоретического и экспериментального исследования электромагнитных явлений на основе концепции близкодействия.

Литература

1. *Больцман Л.* О методах теоретической физики.— В кн.: Статьи и речи. М.: Наука, 1970, с. 58—66.
2. *Пуанкаре А.* Электричество и оптика. Введение.— В кн.: Избранные труды. Т. 3. М.: Наука, 1972, с. 412—418.
3. *Турнер Д.* Максвелл о логике динамического объяснения.— В кн.: Максвелл Дж. К. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 252—269.
4. *Степин В. С.* Становление научной теории. Минск: БГУ, 1976. 319 с.
5. *Bromberg J.* Maxwell's Displacement Current and his Theory of Light.— Arch. Hist. Ex. Sci., 1967, v. 4, p. 218—234.
6. *Kargon R. H.* Model and Analogy in Victorian Science: Maxwell's Critique of the French Physicists.— J. Hist. Ideas, 1969, v. 30, p. 423—436.
7. *Moyer D. F.* Continuum Mechanics and Field Theory: Thomson and Maxwell.— Stud. Hist. Phil. Sci., 1978, v. 9, p. 35—60.
8. *Chalmers A. F.* Maxwell's methodology and his application of it to electromagnetism.— Stud. Hist. Phil. Sci., 1973, v. 4, p. 107—164.
9. Вступительная лекция, прочитанная Джеймсом Клерком Максвеллом в Лондонском Королевском колледже.— Успехи физ. наук, 1981, т. 135, вып. 3, с. 371—380.
10. *Максвелл Дж. К.* Избранные произведения по теории электромагнитного поля. М.: ГИИТЛ, 1952. 688 с.
11. *Maxwell J. C.* Elements of Natural Philosophy.— In: The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. V. 2. Cambridge, 1890, p. 324—328.
12. *Maxwell J. C.* On the proof of the Equations of Motion of a Connected System.— In: The Scientific Papers of J. C. Maxwell. V. 2. Cambridge, 1890, p. 308—309.
13. *Фарадей М.* Экспериментальные исследования по электричеству, Т. 3. Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 831 с.
14. *Максвелл Дж. К.* О математической классификации физических величин.— В кн.: Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 37—47.
15. *Максвелл Дж. К.* Фарадей.— В кн.: Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 207—215.
16. *Эйнштейн А.* О современном кризисе теоретической физики.— В кн.: Собр. науч. трудов. Т. 4. М.: Наука, 1967, с. 55—60.