

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

53(09)

## О СТИЛЕ НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА Я. И. ФРЕНКЕЛЯ

(К восьмидесятилетию со дня рождения)

*В. Я. Френкель*

Знаменитому французскому естествоиспытателю Ж.-Л. Бюффону приписывается афоризм, ставший крылатым: «Стиль — это человек». Высказывание Бюффона в действительности звучало несколько иначе \*) и сводилось к тому, что индивидуальность писателя или поэта проявляется не в выборе темы, не в постановке проблемы, а в том, каким образом основополагающая идея (являющаяся всеобщим достоянием — автор может заимствовать ее и не должен быть в претензии, если ее позаимствуют у него \*\*) разрабатывается и решается.

Нам представляется, что упомянутая выше перефразировка Бюффона может быть приложена и к оценке творчества представителей естественных и, в частности, физических наук. И хотя темой исследований представителей естественных наук и является одна и та же природа, круг идей, выдвигаемых ими для объяснения ее поведения, также может быть включен в понятие о стиле мышления ученого. (Полное соответствие с Бюффоновым восстанавливается, когда речь заходит об изложении завоеваний определенной отрасли науки в рамках соответствующих курсов, будь то курс теоретической физики, математики, общей физики и т. д.)

В какой степени индивидуальной является творческая манера, скажем, физика-теоретика? В данной статье такого рода рассмотрение будет проведено на примере научной деятельности Якова Ильича Френкеля. При этом под творческой манерой (стилем) будут пониматься не только своеобразный подход к решению физических задач или сама их постановка — методика, с помощью которой они рассматриваются, выбор и построение адекватных моделей, описывающих изучаемый процесс, привлечение тех или иных математических средств для его описания, — но и способ изложения, т. е. слог научных публикаций.

В 1934 г. вступая в должность заведующего кафедрой теоретической физики Лейденского университета, профессор Х. Крамерс прочел традиционную речь, которую озаглавил: «Физики как стилисты»<sup>1</sup>. Он посвятил ее своему предшественнику Паулю Эренфесту. Крамерс справедливо заметил, что в самом построении научных публикаций этого своеобразного ученого находят отражение особенности Эренфеста-человека и что по своему стилю и звучанию они сразу же выдают автора. Читатель, знакомый с предыдущими работами Эренфеста, мог бы однозначно определить, что

\*) Ces choses sont hors de l'homme, le style est de l'homme même.

\*\*) Последнее обстоятельство, вероятно, связано с существованием традиционных сюжетов (скажем, библейские сюжеты в живописи, плутовской роман XVIII века и т. д.).

именно ему принадлежит новая статья, хотя бы от него и скрыли фамилию автора. Здесь имеется полная аналогия с положением, характерным для произведений литературы и искусства, в том случае, если, конечно, они принадлежат ярким индивидуальностям.

Обсуждая подобные проблемы, Яков Ильич Френкель подчеркивал своеобразный парадокс, заключающийся в том, что творческая индивидуальность — это синоним оригинальности и нестандартности, — раз проявившись и укрепившись, в какой-то степени становится стандартом, обладающим ограниченным числом степеней свободы. «Индивидуальность творческой личности, — шутил Яков Ильич, — может быть проверена возможностью — или невозможностью — пародировать ее». Старые сотрудники Физико-технического института, где Френкель работал в течение более тридцати лет, вспоминали, в частности, что Яков Ильич в 1924 г., в дни работы IV съезда русских физиков, мастерски пародировал Эренфеста — гостя съезда, а в начале 30-х годов на одном из вечеров сотрудников ФТИ выступил с удивительно смешной «автопародией», т. е. пародировал самого себя.

Для публикаций по физике в последние десятилетия стала характерной все возрастающая сухость, выработался некий общий язык, столь же безликий, сколь безличным (как подчеркивал Крамерс) является язык математических формул. Вероятно, одна из причин этой тенденции заключается в неимоверно возросшем потоке публикаций. В результате стали считать, что «орнаментовка» научных статей, так ярко проявлявшаяся в работах старых мастеров XVII—XIX веков, сделалась излишней.

Хотя сжатое изложение вопроса, обнажение истины, снятие с нее лишних словесных покровов и имеет свой резон и свою эстетику, противоположный подход к представлению результатов исследований также обладает своими преимуществами и основаниями. Работая над статьей, Я. И. Френкель, вероятно, думал не только о том, чтобы проложить кратчайший путь от постановки задачи к ее решению, но и о том, чтобы сделать ход своих рассуждений максимально доступным пониманию. Здесь в этом случае сказывался еще и лектор, привыкший общаться с аудиторией. Приемы устного представления материала, характерные для своей лекторской манеры, он как бы переносил и на письменное его изложение.

«Я лично не считаю необходимым писать свои книги суконным языком, тщательно вытравливая из них все, что может способствовать оживлению и лучшему усвоению излагаемого, — порой сухого, — материала. Право пользования метафорами не должно быть монополией поэтов; оно должно быть предоставлено и ученым», — писал он во второй половине 40-х годов. Поэтому-то статьи Я. И. Френкеля читаются легко и хорошо запоминаются. В марте 1947 г. Макс Борн писал ему: «Благодарю Вас за присылку оттиска статьи о делении. Я прочел ее с большим интересом, хотя и не являюсь специалистом в ядерной физике. Вы пишете всегда так ясно и просто, что за Вашей мыслью легко следовать»<sup>2</sup>.

Весьма характерно, что ряд работ Френкеля, помещавшихся в свое время в периодических научных журналах, вполне органично вошел в сборник *научно-популярных* его статей, изданный в серии «Популярные произведения классиков естествознания» Академией наук СССР<sup>3</sup>.

Я. И. Френкель подчеркивал, что в поэзии Маяковского он ценил не звонкость и виртуозность его рифм, а замечательные, раз и навсегда врезавшиеся в память неожиданные и точные сравнения и метафоры. Не удивительно, что и сам он обогатил физическую литературу, язык физики, большим количеством получивших долгую жизнь образов.

Однако перед тем как рассказать о них, мы остановимся на перечислении ряда терминов, которыми ныне широко пользуются в физической

литературе и которые введены в нее Яковом Ильичом. Было бы интересно, обратившись, например, к предметным указателям монографий по физике, попытаться восстановить имена ученых, внесших «терминологический» вклад — каждый в свою область науки. Так, недавно в США была опубликована статья <sup>4</sup>, в которой делается попытка (вполне успешная) ответить на вопросы, выведенные в заглавие статьи «Кто назвал „он-частицы“?». В этой работе приводится резюмирующая таблица, в которой названы имена ученых, открывших «он-частицы (объединенные одинаковым звучанием окончания в их названиях, берущим начало от «электрона»), а также и тех, кто был их «крестными отцами». Имя Я. И. Френкеля встречается там трижды: он ввел ныне ставшее таким известным представление о кванте возбуждения (1931 г.), который он же в 1936 г. назвал экситоном. А в 1932 г. в своей «Волновой механике» предложил назвать таммовские кванты звука (1929 г.) — фононами.

В физике наших дней чрезвычайно широкое распространение получило понятие «дырки». Это слово было первоначально — в начале 20-х годов — введено в физическую литературу английским физиком Гриффитсом, известным своими работами по физике твердых тел. Гриффитс называл дырками *макроскопические* полости в объеме твердых тел: они были теми центрами несовершенств структуры, которые давали начало «разрезающим» образцы трещинам (эти полости сейчас получили название «пор»). Яков Ильич, рассматривая процессы диффузии в твердых телах, под словом «дырка» предложил понимать нечто совсем иное — пустой узел в кристаллической решетке, т. е. оставленный перешедшим в междоузлие атомом центр решеткой. Междоузлия, по Френкелю, представляли, таким образом, некий резервуар для упорядоченных атомов; он говорит в своих статьях о «решетке междоузлий». Концепция пустого узла — дырки — оказалась чрезвычайно плодотворной и получила права гражданства. Термин дырка, принадлежащий Френкелю (см., например, <sup>5</sup>), включен не только в специальные физические справочники и энциклопедии, но и в обычные словари (типа вебстеровских). Сочетание дырки в кристаллической решетке и соседствующего с ней атома в междоузлии называется «дефектом по Френкелю» (а иногда — «френкелевской парой» <sup>6</sup>). Энергию, требуемую для создания такого дефекта, Яков Ильич, остроумно называл «теплотой парообразования»; этот же шуточный термин он использовал на своих лекциях в Политехническом институте для обозначения энергии в 1 *Мэв*, потребной для образования электрон-позитронной пары.

В 1939 г. Френкель написал статью, в которой развил подход к изучению и расчету явления образования в пределах данной фазы зародышей новой. Эти пионеры новой фазы (капельки жидкости в газе, кристаллики — в жидкости и т. д.) он назвал «гетерофазными флуктуациями» — также интенсивно используемый ныне термин.

Мы не имеем здесь возможности подробно рассмотреть все терминологические новинки и находки Якова Ильича, и их далеко не исчерпанный перечень закончим образным выражением «коллективизация электронов», которое с его легкой руки используется для описания сопровождающего конденсацию металлического пара отрыва валентных электронов — перехода их от «единоличной» принадлежности к данному атому в тот коллектив, который со времен Друде называется электронным газом (интересно отметить, что термин «коллективизация электронов», который, казалось бы, должен был быть снейцифичен для нашей страны, вошел и в английскую физическую литературу).

Возвратимся теперь к описанию тех моделей и образов, которые были разработаны и предложены Я. И. Френкелем, и упомянем в порядке иллюстрации некоторые из них.

Начнем с примеров, относящихся к описанию твердых и жидких тел. Сравнивая их структуру, Яков Ильич писал: «Если число соседей у каждой плитки торцовой мостовой одинаково и она может в этом смысле иллюстрировать кристалл, то иллюстрацией жидкости может служить булыжная мостовая, камни которой имеют непостоянное количество соседей. В жидкости имеется еще больший простор для движения атомов, чем в твердом теле. При плавлении кристалла объем его увеличивается на 3—5 и даже 10%. Это увеличение объема приводит к значительному оживлению процесса перехода атомов из одного положения равновесия в соседнее по сравнению с тем, что имеет место в кристаллах, где атомы зажаты почти до отказа.

Это в какой-то мере можно сравнить с до отказа переполненным вагоном трамвая. Стоит выйти одному-двум пассажирам, и остальные получают гораздо большую свободу перемещения»<sup>3</sup>.

Поясняя возникновение так называемых дефектов по Шоттки — некомпенсированных атомом в междоузлии пустых узлов кристаллической решетки (и тем отличавшихся от ранее введенных в рассмотрение дефектов по Френкелю), Яков Ильич вводит образное представление об абсорбции (или «заглатывании») пустоты. Этой метафорой поясняется такой процесс: атом выходит на незаполненную, застраивающуюся новую плоскость на поверхности кристалла, а оставшееся после него пустое место, дырка, эстафетным порядком заполняется атомами из более глубоко расположенных плоскостей: пустой узел диффундирует внутрь кристалла.

Выше уже упоминалось, что само представление о дырках в кристалле и их движении принадлежит Френкелю. Оно получило в конце 20-х — начале 30-х годов далеко идущее обобщение в электронной теории полупроводников (дырки в заполненной бриллюэновской зоне) и физике элементарных частиц (позитроны как дырки в океане состояний с отрицательной энергией — по Дираку).

В 1936 г. Френкель писал о том, что кристалл может рассматриваться как некий твердый раствор дырок и диссоциированных атомов (т. е. атомов в междоузлиях), тем более концентрированный, чем выше температура<sup>7</sup>. Позднее отсюда возникло представление о возможности «выпадения» этого раствора в осадок. И действительно, в последнее время показано, что дырки способны коагулировать, образуя те самые поры, которые когда-то Гриффитс называл «дырками»<sup>\*</sup>).

Почему в жидкостях отсутствует сопротивление сдвигу? Проф. А. Г. Самойлович вспоминает, как Френкель задал этот риторический вопрос на одной из своих лекций. Он попросил у слушателей спичечный коробок и продемонстрировал, как он оказывает сопротивление попыткам сдвинуть друг по отношению к другу параллельные плоскости. Но вот он вынул внутреннюю коробочку со спичками, оставив один пустой «футляр», и повторил свою попытку. Сдвиг осуществился без усилий — футляр из прямоугольного параллелепипеда превратился в наклонный. «Жидкость потому и не сопротивляется сдвигу, что в ней есть пустоты», — пояснил Яков Ильич. Такого рода объяснения при всей их условности, чрезвычайно облегчают изложение и навсегда остаются в памяти.

В 1946 г. Я. И. Френкель прочел курс лекций по теории металлов. Вскоре (в 1948 г.) он был издан в виде отдельной книги. «Введение в теорию металлов» уже выдержало четыре советских издания и шесть раз вышло в переводах — за рубежом. В этой книге показательны уже сами названия некоторых параграфов. Вот «Трехатомная модель кристалла и ее

<sup>\*</sup>) Заметим, кстати, что переход атома из узла решетки в междоузлие Френкель образно трактует как «внутреннее испарение».

устойчивость»: на примере линейной цепочки из трех атомов показывается (поясняется), как по мере роста температуры тела и сопровождающего этот рост теплового расширения кристаллическая решетка становится неустойчивой, как в ней появляются локальные разрывы — эти предвестники перехода кристалла в жидкое состояние. Другой параграф: «Двухатомная модель твердого тела» (!). Здесь на примере двух атомов демонстрируется переход к отталкиванию между атомами при сжатии кристалла — от притяжения, характерного для их взаимодействия на первых этапах растяжения<sup>8</sup>.

С. И. Пекар замечает: «Иногда даже не модель, а меткое, паглядное, образное выражение Якова Ильича уже являлось постановкой задачи, которая впоследствии решалась другими теоретиками. Например, в 1936 г. в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» Яков Ильич писал (разбирая вопрос о локальном искажении, создаваемом «квантом возбуждения» — экситоном в кристаллической решетке, по которой он движется. — В. Ф.): «Легкая частица ведет себя при этом так, как если бы она влачила за собой тяжелый груз атомных смещений». С. И. Пекар продолжает: «Этим образным замечанием Яков Ильич предвосхитил теорию поляронов, развивающуюся с 1946 г.»<sup>\*</sup>).

В посмертно изданной статье Я. И. Френкеля «Теория обратимых и необратимых трещин в твердых телах»<sup>9</sup> автор подчеркивал, что трещины, существующие в твердом теле (до его нагружения) должны представлять собой свободные поверхности, постепенно сближающиеся вплоть до того момента, пока расхождение между ними не станет равным нормальному расстоянию между соседними атомными плоскостями. «С чисто геометрической точки зрения, — пишет Я. И. Френкель, — эти нормальные расстояния между соседними слоями частиц можно было бы трактовать как трещины и рассматривать всякое твердое тело как пронизанное во всех возможных (в частности, кристаллографических) направлениях системой трещин атомной ширины». К этой характерной метафоре можно добавить интересный модельный прием, использованный для расчета кинетики развития трещины. Френкель трактует трещину как расщепленную на две части горизонтальную пластину (балку), к которой приложена распределенная нагрузка (силы сцепления) и сосредоточенная — на внешнем конце (растягивающее усилие).

В середине 40-х годов Я. И. Френкель много работал в области физики атмосферы. Желая в одной из своих статей подчеркнуть, что облака являются отнюдь не застывшими образованиями, а объектами, которые находятся в состоянии динамического равновесия (процессы испарения и конденсации), он сравнил их с пламенем свечи, которое, конечно же, лишь на первый взгляд представляет собой нечто неподвижное и неизменное<sup>10</sup>.

Проф. Я. Е. Гегузин вспоминает лекцию Якова Ильича, прочитанную весной 1939 г. в Харькове<sup>11</sup>. Френкель только-только закончил работу по электрокапиллярному делению тяжелых ядер. Чтобы пояснить, как нейтрон «запускает» реакцию деления, он привлек такую аналогию: нарисовал на доске водопроводный кран с висящей на нем каплей. Без внешнего воздействия она находится в состоянии равновесия — удерживается капиллярными силами. Стоит щелкнуть по крану (и Яков Ильич щелкнул по своему рисунку) — и капля оторвется от него. «Я и сейчас слышу звук

<sup>\*</sup> Частное сообщение. Упомянутая С. И. Пекаром статья «О поглощении света и прилипании электронов к положительным дыркам в кристаллических диэлектриках» опубликована в ЖЭТФ 6, 647 (1936), а также в «Собрании избранных трудов» Я. И. Френкеля, т. II, М. — Л., Изд-во АН СССР, 1958 (соответствующая цитата взята со 190-й стр. тома).

этого щелчка по доске, раздавшийся в тишине переполненной лекционной аудитории», — рассказывает Я. Е. Гегузин.

Всеобщее признание получил и другой образ, который Я. И. Френкель привел в своей классической статье по электрокапиллярному делению ядер: капельки заряженной ртути, которые по достижении определенного потенциала (заряда) и не только не сливаются друг с другом (как мы привыкли наблюдать в случае незаряженных ее капель), а напротив, разделяются.

Если продолжить с рассматриваемой точки зрения обсуждение работ Френкеля по ядерной физике, то научной метафорой можно считать и введенное им представление о температуре ядер — в работе 1936 г., возникшей непосредственно вслед за появлением известной статьи Н. Бора о ком-паунд-ядре \*). Поглощение нейтрона ядром Френкель рассматривал как конденсацию его (причем энергия порядка  $8 \text{ Мэв}$ , которую вносит в ядро медленный нейтрон, трактовалась им как энергия конденсации), вылет же ядерной частицы — как ее «испарение» из ядра, в процессе которого затрачивается энергия испарения.

\* \* \*

Можно, однако, утверждать, что в последних двух случаях мы уже не столько имеем дело с характерным для Френкеля образным описанием явлений (особенности слога его статей), сколько сталкиваемся с отличающим его стилем *мышления*, проявляющимся в широком использовании метода аналогий в процессе решения физических проблем и задач. Характерно, что уже в первой опубликованной им работе, посвященной кинематике работы дифференциала автомобиля, он, записав уравнения движения колес (связанных с ведущим валом через дифференциал), находит их совершенно идентичным с теми, которые определяют электрические токи в двух индуктивно связанных цепях. И с успехом анализирует свои уравнения в «электромагнитных» терминах — по аналогии с уравнениями теории электрических цепей <sup>12</sup>.

Метод аналогий интересовал Я. И. Френкеля не только с точки зрения возможностей его приложения, но и в более общем, философском плане. Этому вопросу он посвятил ряд докладов (в 1970 г. на основе сохранившегося развернутого конспекта одного из таких докладов, прочитанного в 1931 г., была опубликована статья Якова Ильича на эту тему <sup>3</sup>). Очень емко и образно о методе аналогий Френкель сказал в предисловии к первому тому своей «Волновой механики»: «Из дидактических соображений я широко пользовался при изложении методом аналогий, подчас поверхностных, но зато имеющих преимущество наглядности... Аналогия, если обращаться с ней с должной осторожностью, представляет собой наиболее простой и понятный путь от старого к новому; не следует лишь забывать, что всякая аналогия, если только она не является фактически тождеством, имеет определенные границы. Истинно новое никогда не содержится в старом, и, познавая законы природы, мы должны научиться видеть не только старое в новом, сколько новое в старом, рассматривая последнее как приближенную форму первого» <sup>13</sup>.

И. Е. Тамм и Я. А. Смородинский в предисловии к избранным работам Я. И. Френкеля по теории электронов и атомных ядер специально подчеркивают, говоря о них, что они представляют «...образец того, как подходит к новой задаче физик, много работавший в области классической и статистической физики, и как правильно понятая аналогия приводит к правильной в общих чертах интерпретации нового круга явлений» <sup>14</sup>.

\*) В 1928 г. понятие температуры было привлечено Я. И. Френкелем к описанию поведения молекулы.

Столь успешное использование Френкелем излюбленного им метода аналогий связано именно с тем, что для него, как для ученого-романтика, был характерен живой и активный интерес к целому ряду областей физики, далеко отстоящих друг от друга. Поэтому он и мог выявлять то общее, что было присуще, казалось бы, отдаленным явлениям, вскрывать причину такого сходства, используя приемы, успешно развитые в другой области.

\* \* \*

В опубликованной недавно переписке А. Ф. Иоффе с П. С. Эренфестом<sup>15</sup> очень часто встречается имя Я. И. Френкеля. П. С. Эренфест много сделал для популяризации работ Френкеля за границей, высоко ценил и поддерживал его талант. Вместе с тем, в 20-е годы он (иногда даже с некоторым раздражением) подчеркивал разницу в подходах к физическим проблемам, характерную для него самого и его молодого советского коллеги. Так, в письме от 14 августа 1924 г. он писал: «Образ мышления Френкеля настолько сильно отличается от моего, что нельзя надеяться на плодотворное взаимное влияние: для него «результаты» бесконечно много важнее, чем «понимание»: до сих пор из наших бесед почти ничего не вышло. Его укротить мог бы только Паули, поскольку он одновременно и находчив и четко мыслит»<sup>15</sup>.

Разумеется, слово «понимание» в этой фразе Эренфеста не следует принимать примитивно (буквально). Новые и общие принципы разрабатываемых теорий строятся очень часто на достаточно зыбкой почве. Прочный фундамент минимального числа непротиворечивых аксиом подводится под эти теории со значительным запозданием. Для ученого с острым критическим умом и талантом, каким был Эренфест, такие поиски фундаментальных аксиом, строгие доказательства интуитивно угадываемых теорем и концепций и составляют сущность понимания. Без такого понимания и прояснения Эренфест не считал, очевидно, возможным работать в области приложения новых теорий к решению конкретных проблем или задач. Напротив, Я. И. Френкель полагал, что важнейшим критерием правильности новых теорий должно явиться именно успешное разрешение с их помощью старых и выдвижение новых задач. Вот эти-то «результаты» и были, по мнению Эренфеста (вероятно, справедливо), более важными для Я. И. Френкеля, чем эренфестовское «понимание».

Назовем в качестве примера концепцию волн де Бройля, выдвинутую в 1924 г. Неожиданная и парадоксальная, она на первых порах многим представлялась неприемлемой: как можно было совместить в одно целое представление об электронах (в «зернистости» которых никто не сомневался) и волнах? Комментируя в Ленинграде доложенную на теоретическом семинаре Френкеля в Физико-техническом институте работу де Бройля, Эренфест полушутя сказал: «Одно из двух: или сумасшедший — де Бройль, или — я». Яков Ильич, первый у нас в стране (как заметил И. Е. Тамм) оценивший плодотворность идеи де Бройля, применил это соотношение даже не к свободным электронам, а к описанию поведения электронов в металле и вывел с помощью этого представления все положительные результаты теории электронного газа Друде — Лоренца. Более того, он вычислил длину свободного пробега электронов в металле  $l$ , сопоставив ей коэффициент поглощения электронных дебройлевских волн в кристалле  $\mu$  ( $l \sim 1/\mu$ ) — в классической теории, как и в квантовой теории Зоммерфельда, основанной на новой квантовой статистике\*), величина свободного про-

\*) Обе работы, Зоммерфельда и Френкеля, по квантовой теории металлов были доложены одновременно на конгрессе в Комо (1927 г.).

бега определена не была. Развитая Френкелем концепция позволила понять и влияние температуры на сопротивление (рассеяние электронных волн на возрастающих с температурой флуктуациях плотности), и роль искажений решетки или посторонних в нее включений — примесей.

Сходное с подходом Френкеля к проблеме «понимание — результат» отношение было характерно и для Энрико Ферми, за что он также подвергался доброжелательной критике своих коллег. Американский физик Моррисон вспоминает, что Ферми обычно обсуждал успехи уже достигнутые, тогда как Бор, напротив, концентрировал свое внимание на том, что еще не сделано и в чем заключаются трудности. По этому поводу Телегди заметил: «Ферми, я думаю, если говорить не о стиле, а о философии, был всегда прагматиком. Теория хороша, поскольку она объясняет факты — и черт с ним, с философским орнаментом». Это дало основание Паули называть Ферми «инженером от квантовой механики»<sup>16</sup>.

Я. И. Френкель любил повторять своим студентам, подчас с трудом воспринимавшим квантовомеханические представления как противоречившие так называемому здравому смыслу (подсознательно воспитанному в нас повседневным опытом общения с «понятными» законами классической физики): «Понять — значит привыкнуть». Его подвижный и острый ум физика-теоретика, его удивительная интуиция сводили это время примыкания к минимуму.

Воздавая должное подобной быстроте реакции, толерантности по отношению к новым идеям, столь типичной для ученых романтического склада, мы далеки от мысли бросить тень на усилия ученых другого склада, посвящающих свой талант прояснению этих новых, на первых порах смутных, нащупывающих истину идей. Работы деятелей науки двух рассмотренных выше типов не столько противоречат друг другу, сколько друг друга дополняют, иллюстрируя на их примере справедливость боровского принципа дополнительности.

Интересно заметить, что точке зрения П. С. Эренфеста на характер подхода Я. И. Френкеля к проблемам физики может быть противопоставлено суждение Д. И. Блохинцева, который пишет \*): «Я. И. Френкель понимание физического явления ставил превыше всего. Я никогда не мог освободиться от впечатления, что, поняв явление, он терял к нему интерес. Дальнейшая судьба брошенной им идеи мало его интересовала. Еще более далек он был от извлечения каких-либо выгод из своего достижения. Наслаждение от открытия, видимо, было для Я. И. Френкеля уже достаточной наградой».

\* \* \*

В первой подробной биографической статье, посвященной Я. И. Френкелю и опубликованной в 1962 г. на страницах УФН, ее автор, Игорь Евгеньевич Тамм писал: «По своему научному складу по классификации, предложенной В. Оствальдом в книге «Великие люди», Яков Ильич был типичнейшим представителем ученых-„романтиков“».

Среди ряда особенностей, характеризующих «романтиков», Оствальд выделял многообразие их научных интересов, способность одновременно работать в нескольких достаточно удаленных друг от друга областях их науки. Это в высокой степени характерно и для Я. И. Френкеля. Если обратиться в качестве примера к кругу его научных интересов и занятий в 1938—1939 гг. (годы, наиболее продуктивные по числу публикаций), то мы найдем здесь работы по статистической физике и физике конденсированного состояния (гетерофазные флуктуации, диффузия, пластическая

\*) Частное сообщение.



деформация, физика полимеров и эмульсий, механизм мышечной деятельности), квантовой механике и теории сверхпроводимости, классической физике (общая теория колебаний механических систем), физике ядра и пробной диэлектриков \*). Д. И. Блохинцев полагает, что разносторонность научных интересов Я. И. Френкеля и являлась в значительной степени отражением отмеченной им потери интереса к вопросу, решенному Френкелем в процессе работы.

Это суждение тем более интересно, что может быть приложено и к другим физикам, в частности к Игорю Евгеньевичу Тамму. В конце 50-х годов (время, когда П. Е. Тамм увлеченно работал над общими проблемами квантовой механики) мне случилось в разговоре с ним упомянуть о том, как часто ссылаются на его работу о «поверхностных уровнях Тамма» — то было время бурного развития физики транзисторов. При этом выяснилось, что Игорь Евгеньевич забыл об этой работе.

Возвращаясь же к Якову Ильичу, я могу вспомнить о таком рассказанном мне «полулегендарном» эпизоде. Его попросили поприсутствовать на семинарских занятиях студентов-старшекурсников физико-механического факультета Политехнического института. На этих занятиях студенты выступали с рефератами по той или иной актуальной работе. Яков Ильич пришел в аудиторию, когда очередное занятие уже началось. По окончании выступления студент отвечал на задаваемые ему вопросы. Свой вопрос Яков Ильич начал так: «Я немного опоздал и не знаю, о чьей работе Вы рассказываете...» — и далее сделал ряд кригических замечаний по ее существу. В своем ответе студент, к удивлению и удовольствию собравшихся (включая и Якова Ильича), сказал, что реферировал работу Я. И. Френкеля, опубликованную несколькими годами ранее.

\* \* \*

Следует специально остановиться на отношении Френкеля к математике. Этот предмет был его «первой любовью» в науке. 16-летним юношей он обобщает теорию рядов и приходит к новому методу исчисления, которое называет «прогрессивным». Работа молодого Френкеля была высоко оценена профессором Петербургского университета Я. В. Успенским (учеником А. А. Маркова), который обнаружил в ней основы исчисления конечных разностей. Возникновение этого исчисления связано с именами Ферма, Ньютона и Лейбница и восходит к концу XVII столетия. Самостоятельный приход молодого гимназиста к истокам исчисления конечных разностей можно рассматривать как большой его успех; однако, вероятно, у него самого к этому чувству приешивалось и ощущение горькой досады: ведь, грубо говоря, получалось так, что он ломился в открытую дверь... Однако математические симпатии у Якова Ильича сохранились, и он продолжал интенсивно заниматься этой наукой. Характерно, что в течение 20-х годов на физико-механическом факультете Политехнического института он читал курс высшей математики и вел со студентами упражнения по этому предмету. По воспоминаниям одного из них, ныне проф. О. М. Тодеса, это был курс *физический*, в котором основные представления и формулы высшей математики преподносились не абстрактно, а в связи с конкретными физическими задачами. Я. И. Френкель полагал, что именно так и надо преподавать начальные курсы высшей математики в технических вузах. Быть может, определенную роль в формировании этих идей играло то, что в ранней молодости он проштудировал двухтомный курс математики, написан-

\*) Из 30 статей, опубликованных в 1938—1939 гг., 8 были включены в том избранных работ Я. И. Френкеля (отметим, что общее число статей, отобранных редколлегией для этого тома, составило 35).

ный замечательным физиком Г. А. Лоренцем. За год до своей кончины Яков Ильич планировал начать работу над вузовским учебником математики, в котором он намеревался закрепить на бумаге методические идеи читавшегося им в 20-е годы курса.

В 1946 г., выступая с лекцией о современном состоянии теории металлов (на первом Курнаковском чтении в Москве), Френкель сформулировал в какой-то мере прибегая к гиперболе, свою точку зрения на «математическое сопровождение» физических теорий: «Чем сложнее рассматриваемая система, тем по необходимости упрощеннее должно быть ее теоретическое описание. Невозможно требовать от теоретического описания сложного атома, а тем более молекулы или кристалла результатов столь же высокой точности, как от теории простейшего — водородного — атома... В этом случае (сложных систем. — В. Ф.) от теории требуется лишь правильное истолкование общего характера величин и закономерностей, относящихся к подобной системе. Физик-теоретик в этом отношении подобен художнику-карикатуристу, который должен воспроизвести оригинал не во всех деталях, подобно фотографическому аппарату, но упростить и схематизировать его таким образом, чтобы выявить и подчеркнуть наиболее характерные черты. Фотографической точности можно — и следует — требовать лишь от теоретического описания *простейших* систем. Хорошая теория *сложных* систем должна представлять собой лишь хорошую «карикатуру» на эти системы, утрирующую те свойства их, которые являются наиболее типическими, и умышленно игнорирующую все остальные — несущественные — свойства». Он добавляет еще, лишней раз подчеркивая основную свою мысль: «Хорошая карикатура на какого-либо человека не может существенно улучшиться от более аккуратного и точного изображения нехарактерных деталей его лица и фигуры»<sup>17</sup>.

Я. И. Френкель следовал этой программе. Подробные численные расчеты, воплощенные в таблицы и графики, имеются лишь в его ранних работах; в более же поздних (начиная со второй половины 20-х годов) приводятся приближенные оценки и иллюстративные графики. В отзыве на одну из диссертаций он писал (в 1939 г.): «Численные расчеты, проведенные автором, чрезвычайно сложны. Можно удивляться терпению и настойчивости диссертанта, который проложил дорогу через целый лес выражений... Я бы не решился на такой подвиг и поискал бы более простого пути. Не только усилие двигает науку вперед, но и леность. Надо было придумать способ, который привел бы к результату более простым путем. Надо было получить простой асимптотический результат, получить его простым способом, на пальцах, чтобы легче было бы сразу же составить представление, как это происходит»<sup>2</sup>.

Это пожелание позволительно назвать несколько наивным (или в нем скрыта лукавая улыбка?): для того чтобы построить простую и адекватную модель изучаемого явления, необходимо обладать тем редким талантом, которым столь щедро был наделен сам Яков Ильич.

Тот же упрек в неоправданном математизировании, создающем лишь иллюзию продвижения вперед на пути к построению теории, мы находим и в более поздних высказываниях Френкеля. Так, он писал в предисловии к второму изданию своего «Введения в теорию металлов» о том, что физики «...нередко прилежно разрабатывают теорию в формально-математическом направлении, мало интересуясь вопросом о том, в какой мере основы ее соответствуют действительности. Они рассматривают, например, задачу о движении электронов в периодическом силовом поле кристалла как математически интересную и красивую, не замечая того, насколько схематичны и беспочвенны положенные в основу ее физические представления, не учитывающие взаимодействия электронов друг с другом»<sup>8</sup>. В проекте

одного из своих выступлений он записал: «В тех случаях, когда физическая сущность вопроса не ясна, не следует искать у математики путеводной нити для ее выяснения. Мне кажется, что гораздо более полезной представляется работа, способствующая выяснению сущности дела, факторов, имеющих значение для правильного понимания интересующего нас физического явления или, наоборот, несущественных для него, — одним словом, качественный анализ физической задачи, чем попытки ее количественного решения при явной недостаточности наших сведений о сущности изучаемых явлений». (Заметим, что существует и в какой-то мере противоположное мнение по этому вопросу, высказанное, правда, в шуточной форме, Максом Борном: «Сперва начать считать, потом думать»; но недаром уже все-речь о нем говорили: «Математика всегда была та *via regia* \*), которая вела его к раскрытию тайн природы»<sup>18</sup>).

Коллеги по работе вспоминают Ферми обычно с логарифмической линейкой в руках — он никогда с нею не расставался<sup>19</sup>. У Якова Ильича вообще не было логарифмической линейки — ни на работе, ни дома. В равной степени не было в его небольшой домашней библиотеке и справочных таблиц. Здесь параллель с Ферми восстанавливается: Ферми любил предлагать пари, что выведет и решит описываемое процесс уравнение раньше, чем его сотрудники отыщут ответ в справочниках. Яков Ильич поступал так же, правда, не заключая пари.

\* \* \*

В печатных выступлениях Я. И. Френкеля, в его публичных лекциях и частных разговорах им не раз высказывалось настоятельное желание включить науку в то собирательное представление о культурном уровне людей, в тот «интеллектуальный минимум», который в 20—30-х годах ограничивался только литературой и искусством. Выступая перед ленинградскими писателями в 1936 г., он заметил: «Писатель — жертва старого отношения к естественным наукам. Считалось, что человек, окончивший юридический или филологический факультет, всесторонне образован, в то время как естественный или физико-математический факультет дает только узкую специализацию... Когда мы говорим о научной тематике в литературе, нужно говорить о расширении познаний самих писателей»<sup>2</sup>.

Об этом полезно напомнить сейчас, когда стал общепризнанным одинаковый характер научного творчества и любой другой творческой деятельности. Такое единство основано на понимании той роли, которую фантазия, выдумка, играет в возникновении и создании истинно новаторских идей и работ в области науки и техники.

Печатные статьи Я. И. Френкеля, с нашей точки зрения, также свидетельствуют в пользу такого единства. Прежде всего — их основное содержание отражает и воплощает в себе его высокий творческий потенциал. Их язык, живой и образный, выдают в Якове Ильиче человека несомненно-го литературного дарования. Наиболее ярко оно воплотилось в переписке, частично опубликованной, но, несомненно, проявлялось и в его стихах — лирических и юмористических.

Но в первую очередь в этих публикациях виден Френкель-художник. Портреты его друзей и коллег, пейзажи, карандашные рисунки неоднократно экспонировались на выставках и репродуцировались в ряде изданий<sup>2, 3, 20, 21</sup>. Ученик народного художника Белоруссии Я. М. Кругера (в свою очередь — ученика В. Е. Маковского), Яков Ильич писал в традициях классической русской живописи конца прошлого — начала нашего веков. Однако в своем научном творчестве (а равно и в изложении его результа-

\*) Королевская дорога (лат.).

тов) он, по меткому замечанию Я. А. Смородинского, напоминал скорее художников-импрессионистов. Многие из его теорий как бы набросаны широкими и яркими мазками. Чтобы ощутить их стройность и внутреннюю логику, требуется подготовка и воображение. И если эти условия соблюдены, кажущийся хаос красок и цветовых пятен оборачивается неким гармоничным целым. Со многими из такого стиля работ Френкеля получалось то же, что и с картинами импрессионистов — последние начинали «играть», когда от них отступали на несколько шагов; френкелевские же теории получили заслуженное признание и должным образом оценивались с определенным запозданием (образно говоря, когда совершалось отступление на несколько шагов — лег — во времени).

В кругу близких друзей и сотрудников Френкель был еще известен и как музыкально одаренный человек. Он обладал прекрасной музыкальной памятью, мог «насвистеть» от ноты и до ноты крупные произведения симфонической и камерной музыки. И, как это характерно для его натуры, музыкальность его также носила активный характер: он не виртуозно, но проникновенно играл на скрипке, не расставаясь с нею ни в поездках в длительные командировки, ни во время летнего отдыха. Было бы интересно поставить вопрос о том, не пашла ли своего отражения в научных публикациях Френкеля и эта сторона его интеллектуальной деятельности.

Мы приведем здесь лишь один пример такого косвенного отражения, связанный с работой, выполненной в годы войны. Я. И. Френкель с первых ее дней стремился внести свой посильный вклад во всенародную борьбу с гитлеровскими варварами. Служба ПВО Ленинграда предложила ему разобратся в причинах искрения трамвайных бугелей — оно нарушало маскировку города первых месяцев войны. Июльскими и августовскими вечерами 1941 г. Яков Ильич отправлялся на трамвайное кольцо у Политехнического института и старался определить закономерности отрыва бугеля от провода, сопровождавшегося яркой вспышкой и каскадом искр. Результаты своих наблюдений он использовал для выяснения этого технического вопроса и соответствующих вычислений. В опубликованной в «Журнале технической физики»<sup>22</sup> статье «Искрение трамвайных вагонов и его предупреждение» излагаются результаты этой работы и высказываются рекомендации для борьбы с искрением. Чрезвычайно характерно, что и здесь, в такой, казалось бы, прозаической статье, написанной к тому же в трудные месяцы 1942 г., проявилось органически присущая Френкелю образность выражений. Он пишет, обсуждая особенности трения бугеля о провод: «Обладая отрицательной характеристикой, т. е. уменьшаясь с возрастанием скорости, сила трения вызывает упругие колебания бугеля, а также верхней его части, совершенно подобно тому, как смычок вызывает вибрацию струны или камертона. При этом роль смычка играет провод, а роль струны (камертона) — бугель». И поясняет: «Так как рассматриваемое явление зависит от относительного движения бугеля и провода, то бугель (точнее, трамвайный вагон, на котором он укреплен) можно считать неподвижным, а провод — скользящим по нему совершенно так же, как смычок скользит по струне».

Можно было бы заключить эту статью о стиле научного творчества Якова Ильича Френкеля анализом того, в какой мере его основная профессия физика-теоретика накладывала отпечаток на стиль и язык его писем, на восприятие им окружающей природы. Он любил отыскивать физическую подоплеку тех или иных явлений — от феерических закатов на море до игры струи садового фонтанчика, переходя от размышлений о колорите поздних полотен Рембрандта к обсуждению перспектив и основ новой синтетической музыки. Его реакция на увиденное и услышанное всегда бывала быстрой и непосредственной, а замечания меткими и, казалось, запо-

минающимися. К сожалению, как это нередко случается при близком общении, от них сохранилось общее впечатление, которое не удается подкрепить конкретными деталями... Но вот эпизод, запечатлевшийся в памяти Ю. Л. Соколова, довоенного студента Якова Ильича по Политехническому институту. Белой ночью они прогуливались по Ленинграду; цвел жасмин — и Яков Ильич сказал: «Запах жасмина приятен, но кажется каким-то бесконечно обыкновенным и наивным. Он чем-то напоминает мне заграничную мелодику».

Мы закончим наши заметки этим поэтическим и точным сравнением.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Х. Крамерс, в книге: П. Эренфест, Относительность, статистика, кванты. М., «Наука», 1972, стр. 249.
2. В. Я. Френкель, Яков Ильич Френкель, М.—Л., «Наука», 1966.
3. Я. И. Френкель, На заре новой физики, Л., «Наука», 1970.
4. С. Т. Walker, G. A. Sisk, Am. J. Phys. 38, 1380 (1970).
5. Л. В. Грошев, УФН 14, 808 (1934).
6. В. С. Вавилов, УФН 84, 431 (1964).
7. Я. И. Френкель, УФИ 16, 955 (1936).
8. Я. И. Френкель, Введение в теорию металлов, изд. 4-е, Л., «Наука», 1972.
9. Я. И. Френкель, ЖТФ 22, 1887 (1952).
10. Я. И. Френкель, Теория явлений атмосферного электричества, Л.—М., Гостехиздат, 1949.
11. Я. Е. Гегузин, Природа. № 3, 113 (1971).
12. Я. И. Френкель, Автомобиль, № 19, 6751 (1916).
13. Я. И. Френкель, Волновая механика, ч. 1, Л.—М., ГТТИ, 1933.
14. И. Е. Тамм, Я. А. Смородицкий, в книге: Я. И. Френкель, Собрание избранных трудов, т. II, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 455.
15. Эренфест — Иоффе, Научная переписка. Под ред. В. Я. Френкеля, Л., «Наука», 1973.
16. Exploring the History of Nuclear Physics (Proc. of AIP Conference No. 7), Ed. Ch. Weiner, N. Y., 1972.
17. Я. И. Френкель, Вестн. АН СССР, № 40, 61 (1946).
18. Ю. Б. Румер, УФН 78, 695 (1962).
19. Б. Понтекорво, В. Покровский, Энрико Ферми, М., «Наука», 1972.
20. В. Я. Френкель, Наука и жизнь, № 4, 80 (1972).
21. Л. И. Копиц, Молодость академиков. М., «Просвещение», 1970.
22. Я. И. Френкель, ЖТФ 12, 171 (1942).