

ницам всех ведущих палеонтологических и общепланетарных журналов мира и ставшую предметом ряда международных конференций. Не менее популярными стали и гипотезы о глобальных перестройках биосферы под влиянием неких общепланетарных факторов космического (взрыв астероидов, столкновения с кометами, вспышки сверхновых звезд и т.д.) или земного (трансгрессии, вулканизм, орогенез) происхождения.

И здесь уместно вспомнить имя Соболева, который, несмотря на все ошибки в фактической аргументации, одним из первых осознал необходимость с позиций эволюционизма вернуться к идеям Ж. Кювье о роли катастроф в истории органического мира. Тем самым он затронул вопросы, которые в настоящее время волнуют всех, кто занят изучением факторов и закономерностей макроэволюции.

Дальнейшее исследование сложной конstellляции научных и социально-психологических факторов появления столь необычного феномена в отечественной биологии 20-х гг., как историческая биогенетика Соболева, будет способствовать пониманию многообразия попыток синтеза биологических знаний, предпринимавшихся биологами в 20—30-х гг. в поисках выхода из кризиса эволюционной теории. Будет заполнено еще одно «белое пятно» в истории нашей биологии, ибо такие пятна возникали не только в результате репрессий ученых со стороны власть предержащих, но и из-за отторжения научным сообществом тех или иных концепций, рациональные моменты которых еще не были ясны современникам, а их авторы воспринимались как еретики в науке. И лишь десятилетия спустя вновь подтверждались слова Гете о том, что «чиста душа в своем исканье смутном сознанием истины полна!» [11, с. 49].

Список литературы

1. Никольский А. М. Разновидность номогенеза // Номогенез. М., 1927. С. 68—84.
2. Соболев Д. Н. Начала исторической биогегетики. Харьков, 1924.
3. Соболев Д. Н. Земля и жизнь. Ч. 1—3. Киев, 1926—1928.
4. Против механистического материализма и меньшевистствующего идеализма в биологии. М.-Л., 1931.
5. Давиташвили Л. Ш. Развитие идей и методов в палеонтологии после Дарвина. М.-Л., 1940.
6. Филитченко Ю. А. Эволюционная идея в биологии. М., 1977.
7. Лапкин И. Ю., Ремизов И. П. Дмитрий Николаевич Соболев. К 100-летию со дня рождения // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1972. № 8.
8. Соболев Д. Н. Наброски по филогении гониатитов // Изв. Варшавского политехн. ин-та. 1914. Вып. 1.
9. Соболев Д. Н. Опыт построения градуально-комбинативной системы гониатитов // Научные записки по биологии. Харьков, 1927.
10. Соболев Д. Н. Геологические периоды // Природа. 1915. Июнь.
11. Гете И. В. Фауст. М., 1956.

В. Я. ФРЕНКЕЛЬ, С. Я. ФРЕНКЕЛЬ

О РАБОТАХ ЯКОВА ИЛЬИЧА ФРЕНКЕЛЯ ПО БИОФИЗИКЕ

Оканчивая в 1913 г. 8-й (последний) класс известной в Петербурге гимназии Мая, молодой Френкель написал сочинение на заданную тему: «Война или мир?». Тетрадошка сохранилась в семейном архиве, — несмотря на все мало способствовавшие этому обстоятельства: войны, революции, переезды. Думается, Яков Ильич, солидарный, вообще говоря, с Пастернаком в том, что «не надо сохранять архивы, над рукописями трястись», в данном случае не зря изменил этому правилу. И в немалой степени определилось это, полагаем, тем, что в конце его сочинения, вслед за жирной двойкой, поставленной за него, преподаватель русского языка В. Н. Кораблев написал: «Работа свидетельствует о некоторой начитанности автора, но в то же время и о том, что написанное (чужое) обратилось в своеобразную кашу» [1, с. 22].

Знакомство с сочинением юного Френкеля* ставит под сомнение заключительную часть ре-

* См. об этом гимназическом сочинении в больших подробностях в [1].

золюции Кораблева, но с первой ее частью надо, несомненно, согласиться. Помимо огромного массива проштудированных еще в гимназические годы книг по физике и математике, Яков Ильич, по его рассказам, изучил немало работ по политической экономии, философии и биологии. В его семье и сейчас хранится двухтомный труд Спенсера «Основы психологии», поля которого испещрены пометками Якова Ильича.

О его интересе к проблемам, стоящим на стыке биологии, механики и философии, свидетельствуют и помещенные ниже — и также сохранные Яковым Ильичом в рукописи — заметки 1916 и 1920 гг., которые и составляют основу настоящей публикации.

Представленные ниже материалы разбиты на три части. Сначала — краткий рассказ о сыгравших большую роль в жизни Френкеля его контактах с биологами. Во второй части дан обзор работ Якова Ильича по биофизике и примыкающим к ней разделам физики полимеров, коллоидов, дисперсных систем. Третья часть посвящена некоторым послевоенным работам Я. И. Френкеля.

Контакты Я. И. Френкеля с биологами

В конце 1917 г. Я. И. Френкель, после сдачи магистерских экзаменов в Петроградском университете, выезжает в Крым, где в это время жили его родители и младший брат. У переезда на юг была еще одна причина: в Крыму открывался Таврический филиал Киевского университета св. Владимира, куда Якова Ильича пригласили еще летом 1917 г., когда он проводил свой летний отпуск в Ялте. К лету 1918 г. Френкель становится приват-доцентом университета: читает курсы общей физики и математики. Он — активный член Математического общества при университете, организованного профессором Н. М. Крыловым (впоследствии академиком). Наконец, — последнее по счету, но не по значению — довольно энергично занимается политической деятельностью в период, когда в Крыму на сравнительно недолгое время установилась советская власть. Эта деятельность (а был он заместителем наркома образования Таврической республики и членом редколлегии газеты «Красный Крым») стоила ему после прихода в Крым Добровольческой армии Деникина ареста и тюремного заключения, а по освобождению, под поручительство ряда профессоров университета, — нескольких месяцев отстранения от преподавательской деятельности.

Оторванность Таврического университета от двух основных научных центров России — Петрограда и Москвы, где со второй половины 1918 г. началось восстановление исследовательских работ в области физики, частично компенсировалась для Якова Ильича тем, что в Крыму он сблизился с рядом выдающихся отечественных ученых. Это, прежде всего, были математики и биологи. К числу первых относились профессора Николай Митрофанович Крылов, Михаил Людвигович Франк и молодой приват-доцент Владимир Иванович Смирнов (впоследствии академик). Не менее близкие научные и дружеские отношения установились и с биологами — профессором, заведующим кафедрой биологии Александром Гавриловичем Гурвичем, Сергеем Ивановичем Метальниковым и молодым Александром Александровичем Любищевым, ассистентом на кафедре Гурвича.

С семьей Любищевых Френкель были знакомы еще до революции. По рассказу дочери Любищева, Евгении Александровны, именно Яков Ильич содействовал переходу ее отца на работу в Таврический университет. Здесь они с Яковым Ильичом еще больше сдружились. Этому в немалой степени способствовали глубокие математические интересы Любищева (о них, между прочим, вспоминал И. Е. Тамм, короткое время работавший на кафедре физики университета в Симферополе вместе с Я. И. Френкелем [2]; к этому времени относится начало их дружбы) и биологические интересы Якова Ильича. Общими были и политические пристрастия молодых людей. Трудные экономические условия «сводили» Любищева и Френкеля и на ниве, далекой от интеллектуальной деятельности: они работали грузчиками, распиливали на доски бревна на лесопильном заводике в Симферополе и т. д. Добавим к этому, что Александра Александровича и Якова Ильича и тогда, и позднее объединяло всеми их друзьями отмечавшееся бесстрашие, с которым они всегда высказывали свое отношение к событиям общественной и научной жизни, включая в последнюю и философию*.

Несколько иначе складывались взаимоотношения Я. И. Френкеля и А. Г. Гурвича: тут сказывалась довольно значительная разница в возрасте. Но общими были взаимные интересы к пограничным областям биологии и физики. Эти интересы сохранились, а контакты возобновились по возвращении из Крыма. Френкель часто бывал в доме у Гурвича, а также во Всесоюзном институте экспериментальной медицины, где тот работал. Позднее, уже во время войны и эвакуа-

* Сохранившаяся (видимо, лишь частично) переписка Френкеля и Любищева опубликована в [3].

ции в Казань, где Френкель и Гурвичи жили на одной улице, буквально в минуте ходьбы друг от друга, они продолжали много общаться. Именно в Казани их взаимодействие «реализовалось» в совместной публикации [4], посвященной физико-химической природе митогенетических лучей. Под эксперименты Гурвича Френкель попробовал подвести электродинамическое обоснование. Отметим, что другим зримым результатом частых казанских встреч явился один из лучших портретов маслом из обширной коллекции живописных работ Якова Ильича — портрет Александра Гавриловича (см. [1]).

В ВИЭМе в конце 30-х гг. Френкель обсуждал свои работы по влиянию ультразвуковых колебаний на раковые клетки и на одной из конференций докладывал о терапевтических и диагностических возможностях УЗК. Отметим, что этот интерес примерно тогда же привел к активным контактам и сотрудничеству Френкеля с ленинградским физиком профессором С. Я. Соколовым — крупнейшим специалистом в области УЗК.

А. Г. Гурвича еще в довоенное время резко критиковали за его общебиологические концепции философского плана наши философы-марксисты, и тут он ощущал несомненную поддержку со стороны Якова Ильича. Е. А. Любичева любезно ознакомила нас с письмом от 26 июня 1940 г., направленным Гурвичем ее отцу. Вот небольшая выдержка из него: «Милейший Яшенька для меня единственная отрада. Раз в пятидневку он проводит у меня часа три; почти все время мы спорим и кричим, как только могут кричать два темпераментных еврея». Далее Гурвич добродушно сетует на то, что Яков Ильич вовлекает его в обсуждение и разработку физических аспектов его (Гурвича) работ, тем самым невольно уводя его от занятий общебиологическими проблемами.

Добавим в заключение, что дружил Яков Ильич и с профессором С. И. Метальниковым, учеником И. П. Павлова. В самом конце 1920 г. Сергей Иванович эмигрировал из Крыма, вскоре обосновался в Париже и успешно работал в знаменитом Институте Пастера. Во время своих поездок за границу во второй половине 20-х гг. Яков Ильич не упускал возможности встретиться и побеседовать с Метальниковым, которого любил и ценил.

О некоторых биологических исследованиях Я. И. Френкеля

Механизм мускульной деятельности

Я. И. Френкель, уделяя во второй половине 30-х гг. большое внимание физике полимеров, естественным образом обратился и к механизму мышечного действия. Здесь надо сказать, что в 20—30-е гг. биофизические исследования на эту тему не очень далеко ушли от опытов Гальвани (отметим, что с подобных опытов начинал свою деятельность в Физико-техническом институте будущий основатель Института биофизики АН СССР и академик Г. М. Франк*). Более продвинуты были биохимические исследования В. А. Энгельгардта и М. Н. Любимовой и чисто физиологические, хотя и с «молекулярным уклоном» — Э. Ф. Хаксли (ныне — президента Британского Королевского общества), синтез взглядов которых лежит в основе современных детализированных теорий (см. [5—7]). Впрочем, первая работа Энгельгардта и Любимовой была опубликована на год позже рассматриваемой ниже работы Я. И. Френкеля, и он о ней в 1938 г., конечно, знать не мог. Теоретические же биофизические в собственном значении этого слова исследования ограничивались сугубо формалистическими построениями американского ученого Рашевского — основателя вышедшего в США «Журнала математической» (курсив наш. — Авт.) биофизики». Разумеется, мы далеки от намерения упрекать Рашевского за упомянутый формализм: точных методов изучения мышечной ткани в то пору еще не существовало и, соответственно, экспериментальных фактов было накоплено очень мало.

Всплеск интереса к проблемам биофизики приходится на вторую половину 50-х гг. и определен он появлением и становлением молекулярной биологии, от которой отделились молекулярная биофизика, генетика и бионика. Именно тогда стали возможными точные и однозначно интерпретируемые эксперименты. Обратный «синтез», т. е. переход от молекулярной к общей биофизике после этого уже большого труда не представлял.

Исследования, которые прямо или косвенно отсылались к биофизике, Яков Ильич начал проводить и публиковать в конце 30-х гг. Естественно, они основывались на тогдашних знаниях о полимерах и коллоидах. Показательно, однако, что он сумел извлечь из далеких, казалось бы, от биологии проблем идеи, напрямую относившиеся к биофизике.

Хронологически первая из этих работ посвящена как раз механизму мышечной деятельности

* Глеб Михайлович Франк — сын упоминавшегося выше старшего товарища Якова Ильича по Таврическому университету М. Л. Франка. Второй сын М. Л. Франка — известный физик, лауреат Нобелевской премии академик И. М. Франк.

[8]. Именно в ней была предложена модель, описывающая механизм мышечного сокращения, — модель, созданная на основе предшествовавших работ Френкеля по высокомолекулярным соединениям. Мышечное сокращение с помощью этой модели объясняется по аналогии с каучукоподобной эластичностью. При этом длинноцепочечным молекулам основного белка мышц — миозина приписывались свойства обычных гибкоцепных полимерных молекул, которые в определенном диапазоне температур способны к огромным изменениям эффективной длины. В этом и состоит каучукоподобная эластичность: в нормальном состоянии молекулы свернуты в кубики, расстояние между концами которого в десятки и сотни раз меньше контурной длины. При действии внешних или внутренних сил эти клубки существенно или полностью разворачиваются, а при снятии нагрузки возвращающая сила энтропийного характера, связанная с тепловым движением мономерных звеньев, возвращает цепи в исходное скрученное состояние. Макроскопический жгут из таких цепей повторяет их поведение. Возможность осуществления внешней работы при этом иллюстрируется известным и простым опытом: растянутый резиновый жгут замораживается жидким воздухом, превращаясь в «прут»; к нему можно подвесить груз и дать вернуться к комнатной температуре: в определенный момент этого обратного процесса жгут резко сократится и поднимет груз.

Поскольку в процессе мышечной деятельности не происходит существенных, даже локальных, изменений температуры, необходимых для того, чтобы осуществился сходный цикл растяжения — сокращения, надо допустить, во-первых, что источник деформации — внутренний, биологического (точнее, биохимического) происхождения. Во-вторых, нужно было найти иной (вместо замораживания) источник резкого повышения жесткости системы миозиновых молекул, составляющих мышцу. Таким источником, общего происхождения с деформацией, Яков Ильич полагал вулканизацию миозина, т. е. реакцию, подобную превращению каучука в резину (при этом отдельные цепочки соединяются поперечными связями, в случае каучука и резины — обычно серными мостиками). Цепи и система в целом при этом теряют большую долю степеней свободы и обретают жесткость (Френкель доводит аналогично до превращения каучука в эбонит). Детально об энергетическом (химическом) источнике этого превращения тогда говорить было рано, но одно далеко идущее заключение, подтвердившееся в другой, хотя и близкой области, Яков Ильич сделал. Если подобная вулканизация строго локализована вдоль цепей и обратима, то возвращение в состояние клубков («девулканизация») в полцикле сокращения чисто статистически восстанавливает отправные линейные размеры, а в новом полцикле вулканизации (она локализована!) уже не статистически восстанавливается максимальная длина.

Первым источником энергии, ответственным за подобный цикл сокращения (релаксации) — удлинения, Френкель считает как раз эту обратимую вулканизацию.

В настоящее время молекулярная теория мышечной деятельности существенно детализирована. Во-первых, еще Энгельгардт и Любимова показали, что на одном конце цепи миозин содержит ферментативную, т. е. каталитическую «головку». Этот фермент расщепляет универсальный биологический источник энергии — аденозинтрифосфат: отсюда и берется необходимая биохимическая энергия.

Во-вторых, наряду с миозином в мышцах присутствует второй белок — актин, и именно межмакромолекулярный комплекс этих двух белков — актомиозин — непосредственно осуществляет элементарный цикл сокращения—удлинения. В-третьих, миозин в цикле сокращения—удлинения не слишком значительно изменяет длину, претерпевая переход из α -формы в β -форму, — обе вытянутые (хотя β -форма вытянута сильнее), но различающиеся степенью и характером внутри- и межмолекулярного порядка. В частности, в β -форме возможно образование межцепных водородных связей, что в некотором роде аналогично обратной вулканизации (впрочем, в статье Френкеля, со ссылкой на Астбери, обе эти формы упоминаются). Кроме того, происходит взаимное скольжение актиновых и миозиновых цепей; торможение этого скольжения (т. е. потеря части степеней свободы) тоже сродни вулканизации. Мы не можем вдаваться в дальнейшие детали, отсылая читателя к специальным изданиям [8], но заметим, что дискуссии по этому вопросу, ведущие начало от 1938 и 1939 гг., продолжаются, и предлагаются парадоксальные варианты (резко отвергаемые Хаксли), в которых белкам отводится роль «поршня и цилиндра», а роль «пара» (по аналогии с тепловой машиной) приписывается вызванным химическими реакциями изменениям структуры воды.

Однако, как отмечалось, идея точного восстановления длины вследствие вулканизации не только вновь появилась на сцене, но и была строго доказана в течение 50-х гг., когда, главным образом в работах А. Качальского и В. Куна [9—11], была развита теория и реализован синтез искусственных «химических мускулов», — т. е. полимерных систем, ориентированных в форме волокон, пленок или жгутов, способных к осуществлению под действием температуры, химических или электрохимических факторов цикла Карно все того же типа растяжение—сокращение.

Первым был изобретен так называемый *pH*-мускул: полиэлектролитное волокно, растягива-

ющееся в водной среде при таком изменении pH , когда на соседних звеньях возникают заряды одного знака (т. е. происходит обычное кулоновское отталкивание, которое и приводит к растяжению цепей и волокна в целом), а при обратном изменении pH заряды исчезают, и волокно сокращается; при этом оно может производить внешнюю работу.

Френкель предугадал «фазовый мускул», реализуемый на любом гибкоцепном кристаллизующемся полимере. Если такой полимер закристаллизовать и затем завулканизировать в растянутом состоянии, процессы пойдут по полной аналогии с описанным выше демонстрационным опытом с замороженной резиной. При плавлении кристаллической решетки ориентированных цепей (узлы решетки состоят из повторяющихся звеньев) она сокращается и может поднимать тяжести. А при новой кристаллизации она возвращается в точности к исходной длине [12]. Это типичная тепловая машина, работающая на цикле Карно, в одномерном варианте. О выполняемой ею работе можно судить по такой цифре. «Фазовый мускул», изготовленный А. Качальским с сотрудниками из белка соединительной ткани коллагена (отножу не «предназначенного» быть естественным мускулом) в виде волокна с поперечным сечением 1 мм^2 , в полцикле сокращения поднимал груз весом 1 т (см. [5]). Такой же цикл можно осуществить, погружая «фазовый мускул» в набухатель, т. е. растворитель отправного незавулканизированного полимера. Идея, развитая в [8], далее детализируется в гл. VII «Кинетической теории жидкостей» [13].

Биологические выходы работ об электрических свойствах дисперсных систем

Теперь хотелось бы сказать о другой группе биофизических идей Я. И. Френкеля. Они не получили дальнейшего развития, но легко находят себе апостериорную интерпретацию сегодня — в терминах нелинейной неравновесной динамики. Эти соображения Френкеля непосредственно связаны с его интересом к некоторым коллоидно-электрохимическим проблемам, нашедшим отражение в трех статьях 1944 и 1948 гг. [14—16]. Источником этого «первичного» интереса, вероятно, следует считать хронологически первую печатную работу Якова Ильича (1917 г.) об электрическом двойном слое [17], сразу же получившую международное признание. Позднее сохранившийся интерес к электролитам и коллоидам был связан как с непосредственным общением его с коллегами по Физико-техническому институту (ФТИ), так и с послевоенной работой во Всесоюзном институте авиационных материалов, где Френкель был научным руководителем одной из лабораторий.

Начнем с того, что все три эти работы очень изящны сами по себе. Достаточно упомянуть предложенный в одной из них элементарный и остроумный вывод фундаментального соотношения Дебая-Хюккеля и простоту использованной для этого модели — плоского конденсатора, в который погружена сферическая частица. Далеко идущие следствия, полученные при анализе этой модели, напоминают использованные Френкелем в его «Кинетической теории жидкостей» заключения о механизме плавления кристалла, который удавалось понять и прояснить на примере трех- и даже двухатомных моделей.

Не имея возможности, за недостатком места, подробно остановиться на этих работах, заметим следующее:

1. В первой из рассматриваемых статей [14] анализируется причина одновременного повышения электропроводности и диэлектрической проницаемости воды в присутствии электролитов (впервые этот эффект наблюдался в ФТИ А. П. Александровым и Г. П. Михайловым). Уже тогда Яков Ильич обсуждал следствия этого эффекта применительно к анализу процессов, происходящих во влажных сыпучих средах. С появлением полиэлектролитов (исследования А. Качальского и многих других авторов в 50—60-х гг.) эта работа приобрела новую значимость. Во-первых, она позволяет внести ряд корректив в теорию так называемого полиэлектролитного набухания. Во-вторых, что, пожалуй, важнее, она позволяет лучше разобраться во внутренних свойствах очень сильно набухших (до $\times 10^4$) полиэлектролитных гидрогелей, играющих большую роль в экологии и биологическом моделировании (в частности, обмена веществ на доклеточных стадиях эволюции). Наконец, нельзя не упомянуть и о чисто прикладном и не связанном с биофизикой аспекте — вытеснении растворами полиэлектролитов нефти из оскудевших слоев.

2. В 1944 г. Яков Ильич вряд ли задумывался о возможных биофизических следствиях своей работы [14]. Он сделал это четырьмя годами позже, обратившись уже непосредственно к коллоидно-электрохимическим проблемам, связанным с электрическими колебаниями в дисперсных системах. Оставляя «за кадром» грубую модель эмульсий, в которой капелькам масла отводится роль клеточных стенок (модель груба, ибо пренебрегает активным транспортом ионов), сосредоточив внимание на «эффекте антеннирования», по-видимому, впервые отмеченном в этих работах (прежде всего, в [15]) и заключающемся в том, что живой организм (разумеется, обычно это человек) играет роль «дополнительной антенны» к радиоприемнику. Теперь, в эпоху расцвета телевидения, можно совершенно наглядно (в буквальном смысле слова!) показать и увидеть,

что то же самое относится и к не очень хорошо стабилизированному телевизору. Подчеркнем: это свойство исключительно живых организмов: примерно через 20 мин после смерти «эффект антеннирования» исчезает. Яков Ильич связывал это с прекращением (в сегодняшних терминах) активного транспорта ионов, но, видимо, эффекту может быть дано и общее объяснение.

Прежде всего, этот эффект вовсе не обязательно связан с контактным взаимодействием человек-приемник. Стоит войти в комнату, где функционирует недостаточно хорошо отлаженный телевизор, как последний может резко изменить режим работы (и, естественно, качество изображения).

Вряд ли с позиций нелинейной динамики и теории диссипативных структур здесь нужна особая детализация. Как человек, так и приемник или телевизор представляют собой типичные диссипативные структуры (конечно, пока человек жив, а приемник включен). Они неравновесны, но устойчивы именно потому, что неравновесны. Устойчивость (стационарность или метастационарность) им придает поток энергии, информации (отрицательной энтропии) и вещества, прекращающийся при «отключении» (опять-таки — или в буквальном смысле этого слова, или в случае смерти). Взаимодействие таких потоков, текущих через две диссипативные структуры, в конечном счете и приводит к эффекту «антеннирования».

Сказанное представляет собой в определенном смысле ультрасовременную интерпретацию. Однако мы видим на этом примере реализацию модели механической устойчивости и неустойчивости, развивавшейся Яковом Ильичом в его работе 1916 г.!

Указанные нами коллоидно-электрохимические работы быстро вызвали к жизни сначала аналогии (а методу аналогий в физике Яков Ильич всегда придавал большое значение [18, с. 259—274]), а потом и новые его теории, связанные с распространением колебаний во влажной почве, позволившие дать детальную теорию хорошо известных электросейсмических явлений, а потом и предсказать электроакустические эффекты в кристаллах.

В заключение нужно подчеркнуть, что кратко рассмотренные здесь работы Якова Ильича могут служить красноречивым ответом тем его доброжелательным (и недоброжелательным!) оппонентам, которые часто упрекали его за некую «всеядность» или разбросанность интересов.

Некоторые послевоенные работы Я. И. Френкеля

Сразу после окончания Великой Отечественной войны в стране стало набирать силу движение, ставившее своей целью привлечь сотрудников академических, учебных и научно-исследовательских институтов к решению проблем производства и промышленности, переходивших на мирные рельсы. Я. И. Френкель, выделявший еженедельно несколько часов для оказания такого рода помощи и проведения консультаций, организовал (в качестве председателя Совета Дома ученых в Лесном) встречи ученых Политехнического и Физико-технического институтов с работниками заводов непосредственно в Доме ученых.

К нему обращались инженеры разных ленинградских заводов и служб. Однажды у него побывала сотрудница какого-то предприятия, занимающегося проектированием протезов ног — скольким тысячам инвалидов Отечественной войны они были в то время экстренно необходимы! Френкеля попросили оказать содействие в проведении соответствующих разработок. Спустя какое-то время на письменном столе Якова Ильича появилась книга профессора Н. А. Бернштейна «О построении движений» [19]. Мастерски исполненные иллюстрации к ней поясняли механику передвижения живых организмов — от насекомых до человека. Яков Ильич читал эту книгу с большим интересом, выходящим за рамки чисто «прагматических» задач, поставленных им перед собой. Его контакты с инженерами-разработчиками протезов имели вполне реальные результаты. В бумагах Якова Ильича сохранились схемы и чертежи (эскизы), иллюстрирующие принципы действия пневматических устройств протезов.

Одна из важных задач, стоявших перед конструкторами, заключалась в том, чтобы обеспечить гиб протеза — в случае, если нога была ампутирована выше колена — в механическом аналоге коленного сустава. Френкель предложил энергоемкую электрическую схему такого рода устройства. Миниатюрного аккумулятора оказывалось достаточно, чтобы обеспечить длительное функционирование протеза. Когда здоровая нога наступала на землю (или на пол), замыкалась цепь, приводившая в действие моторчик, сжимавший пружину. Под ее действием протез «сгибался в колене»*. Та же схема, разумеется, могла сработать и в случае ходьбы на двух протезах. Якову Ильичу посоветовали запатентовать эту идею, но он такое предложение отклонил.

К этой биомеханической работе Якова Ильича примыкает еще одна, не связанная с нею на-

* Близкая по принципу схема управляет работой автоматически открывающихся дверей городского транспорта.

прямую. Она относится к большому циклу исследований, которые в 1947—1951 гг. проводились в Москве в лаборатории упомянутого выше Всесоюзного института авиационных материалов. В ней под руководством Френкеля исследовались проблемы трения, смазки, коррозии. В рамках этих работ изучалось движение капелек жидкости по поверхности твердых тел. По мере увеличения наклона твердой поверхности, на которой расположены капельки, и достижения определенного критического угла наклона капля начинает скатываться с поверхности. Это скатывание Яков Ильич образно сравнил с движением гусеничного трактора. Капля скатывается, как бы подготавливая себе предварительно (и формируя в процессе движения) пленку — плоскую струю. По ней капля и движется, переливаясь с заднего края на передний, — это напоминает движение обычной гусеницы. Подобная плоская струя так же неустойчива, как и обычная трехмерная, исследованная еще в классических работах Рэлея. И, как такая трехмерная струя, дробится на капельки. «Эти капельки, — пишет Френкель, — вытянутые вдоль линии движения первоначальной капли и образующие как бы пунктирный след на ее рассматриваемой поверхности, хорошо известны всем. Они особенно явственно наблюдаются во время дождя на поверхности стекла окон в быстро мчащемся поезде или автомобиле» [20, с. 1027]. Исследования поведения капель на поверхности смачиваемых ими твердых тел можно, таким образом, отнести к области биогидромеханики движений, примыкающей к обычной биомеханике. Добавим, наконец, что интересным техническим выводом из всех этих «капельных» работ Френкеля было предложение о замене шарикоподшипников «каплеподшипниками» (термин Френкеля) — идея, которую Яков Ильич не успел запатентовать (см. [20]).

Обратимся в заключение к хронологически последней биофизической работе Я. И. Френкеля о релаксационной теории слуха [21]. О ее происхождении можно заключить из содержания этой статьи. Яков Ильич пишет о том, что ленинградский биолог профессор Д. Н. Насонов (впоследствии член-корреспондент АН СССР, основатель и первый директор Института цитологии РАН) исследовал чувствительность мышечной ткани к звуковым сигналам различной частоты. Резонансный отклик на эти воздействия был истолкован Насоновым по аналогии с объяснением механизма восприятия звуковых колебаний органами слуха человека и других высших животных. Видимо, зная о работе Френкеля [8], Насонов ознакомил его с результатами своих наблюдений [22]. Он полагал, что в исследованных мышцах имеются составные элементы, собственная частота механических колебаний которых резонансно отзывается на приложенные к мышце вынуждающие силы, колеблющиеся со звуковой частотой. Этим просто объяснялся имевшийся на кривой чувствительности и наблюдавшийся Насоновым максимум. «При обдумывании этого вопроса (т. е. вопроса о природе указанного резонанса. — *Авт.*), — пишет Яков Ильич, — я вспомнил о релаксационных колебаниях, пародирующих явления обычного резонанса, и применил их далее к восприятию звука обычным ухом, т. е. с помощью кортиева органа» [21, с. 681].

Свою статью [21] Френкель начинает с напоминания о сущности резонансной теории слуха. Нервные окончания разветвляются в улитке напоподобие зубцов (разной длины) обычной гребенки. Эти зубцы воспринимают воздействующие на них вынуждающие звуковые колебания подобно струнам рояля, причем каждый такой зубец ответственен за определенный, достаточно узкий участок спектра слышимых нами звуков. Эта резонансная модель, при всей своей привлекательности, находится, по мнению Якова Ильича, в противоречии со способностью нашего уха различать необычайно близкие тона. Вместе с тем существуют так называемые релаксационные колебания, «пародирующие», по выражению Френкеля, явления обычных резонансных колебаний. Они могут возникать и в том случае, когда соответствующая система совсем не обладает упругостью, но при своем движении встречает силы трения, пропорциональные его скорости. Поведение подобных систем, которые после устранения вызывающей движение силы возвращаются в исходное состояние, характеризуется требуемым для такого возвращения временем релаксации τ . Если внешняя сила — периодическая, с частотой ω , то возникает колебательное движение, а силами трения! При этом поглощаемая такой системой в единицу времени энергия оказывается пропорциональной выражению $\frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}$ *. Из его простой структуры видно, что зависимость поглощения («чувствительности») от $\omega\tau$ имеет ярко выраженный резонансный характер, причем максимуму поглощения соответствует условие $\omega\tau = 1$. Особенность же рассматрива-

* Интересно отметить, что эта формула была получена в 1912 г. П. Дебаем в рамках его исследований поведения растворов электролитов в переменных полях. Здесь имеется, полагаем, не случайное совпадение по времени появления из печати работы Френкеля об электрических колебаниях в дисперсных системах [15], которая, как мы видели, близка к дебаевским исследованиям, и обсуждаемой работы по релаксационной теории слуха [21].

емого механизма — развиваемой Френкелем модели — состоит в том, что он хорошо объясняет упомянутую выше исключительную чувствительность слухового органа, позволяющую нам различать очень близкие по частоте звуки.

Итак, по Френкелю, окончания слухового нерва характеризуются не набором частот собственных упругих колебаний, а различными значениями времен релаксации τ . Их обратные величины V_τ — от $V_{30} \text{ c}^{-1}$ для низких звуков до 10^4 c^{-1} для высоких — перекрывают диапазон слышимых нами звуков — от низкочастотной до высокочастотной границ слышимости. Вероятно, указывает Френкель, имеется и некоторое, хотя и не прямое, соответствие между длиной волокна (зубцов) и временем релаксации τ : «Чем длиннее волокно, тем больше время релаксации, характеризующее его поведение при погружении в вязкую жидкость, которой наполнено внутреннее ухо» [21, с. 680].

К сожалению, нам неизвестно, по какому пути пошло дальнейшее развитие теории слухового восприятия. Однако хочется отметить, что предложенная Френкелем теория и неожиданна, и изящна — и это совпадает с ее оценкой в первом отклике на эту работу, содержащемся в ее реферате, опубликованном в том же 1948 г. [23]. Добавим к этому, что Д. Н. Насонов в своей более поздней монографии непосредственно ссылался на Френкеля.

Список литературы

1. Френкель В. Я. Яков Ильич Френкель. М.-Л., 1966.
2. Френкель В. Я. Встречи // Воспоминания о И. Е. Тамме. М., 1986. С. 269—300.
3. Френкель Я. И. Воспоминания, письма, документы. Л., 1986.
4. Frenkel J., Gurvich A. G. The physico-chemical basis of mitogenetic radiation // Trans. Faraday Soc. 1943. Vol. 39. Pt. 7/8. P. 201—204.
5. Волькенштейн М. В. Молекулы и жизнь. М., 1965. Гл. 9.
6. Волькенштейн М. В. Молекулярная биофизика, М., 1975. Гл. 9.
7. Блюменфельд Л. А. Проблемы биологической физики. М., 1977.
8. Frenkel J. On the mechanism of muscular activity // Acta Physicochimica URSS. 1938. Vol. 9. № 2. P. 251—256.
9. Kuhn W., Hargitay B., Katchalsky A., Eisenberg H. Reversible dilation and contraction by changing the state of ionisation of high polymer acid networks // Nature. 1950. Vol. 165. № 4196. P. 514—516.
10. Kuhn W., Ramel A., Walters D., Ebner G., Kuhn K. Reproduction of mechanical energy from different forms of chemical energy with homogenous and cross-straited high polymer systems // Fortschr. Hochpolymer Forsch. 1960. Bd. 1. № 4. S. 540—592.
11. Steinberg I. Z., Oplatka A., Katchalsky A. Mechano-chemical Engines // Nature. 1966. Vol. 210. № 5036. P. 568—571.
12. Манделькерн Л. Кристаллизация полимеров, Л., 1967.
13. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. Л., 1975.
14. Frenkel J. On the influence of the electrolytic polarization of a disperse medium on its dielectric constant // Acta Physicochimica URSS. 1944. Vol. 19. № 6. P. 527—540.
15. Френкель Я. И. Электрические колебания в дисперсных системах // Коллоид журн. 1948. Т. 10. № 2. С. 148—154.
16. Френкель Я. И., Фрадкина Э. М. Об электрических параметрах дисперсных систем // Коллоид журн. 1948. Т. 10. № 3. С. 241—244.
17. Frenkel J. On the surface electrical double layer of solid and liquid bodies // Phil. Mag. 1917. Vol. 33. № 96. P. 297—322; рус. вариант: Френкель Я. И. Об электрическом двойном слое на поверхности твердых и жидких тел // ЖРФХО. Ч. физ. 1917. Т. 49. Вып. 2. С. 100—118; Френкель Я. И. Поверхностное натяжение // Там же. 1919. Т. 50. № 1—3. С. 5—20.
18. Френкель Я. И. На заре новой физики. Л., 1970.
19. Бернштейн Н. А. О построении движений. М., 1947.
20. Френкель Я. И. О возможности замены шариков в подшипниках каплями // ЖТФ. 1950. Т. 20. Вып. 8. С. 1027—1028.
21. Френкель Я. И. Релаксационная теория слуха // ДАН СССР. 1948. Т. 59. № 4. С. 679—681.
22. Насонов Д. Н., Равдоник К. С. Реакция изолированных поперечнополосатых мышц лягушки на слышимые звуки // Физиологический журнал. 1947. Т. 53. № 5. С. 569—580.
23. Авербах В. Релаксационная теория слуха // УФН. 1948. Т. 35. С. 122—123.