

DOI 10.24412/2076-8176-2025-1-79-82

У начала эластографии

А.П. Сарвазян

Artann Laboratories, Ламбертвиль, США; armen@artannlabs.com

Армен Паруйрович Сарвазян — биофизик, иностранный член РАН, многолетний сотрудник С.Э. Шноля в Институте биологической физики АН СССР. Автор вспоминает о том, как опубликованные в начале 1960-х гг. экспериментальные данные о медленных акустических волнах в гелях, казавшиеся многим квалифицированным физикам глубоко ошибочными, привлекли внимание С.Э. Шноля. Предложение Шноля разобраться в том, какая физика может стоять за этим явлением, стало для автора делом всей жизни. Направление, основание которого заложил Шноль и которым А.П. Сарвазян занимался и продолжает заниматься, сейчас стало большим разделом биомедицинской науки и послужило основой для создания многих новых диагностических методов и приборов. Автор также вспоминает о добром юморе С.Э. Шноля и о полной творческой свободе, которая царила в его лаборатории и сопровождала начало любых новых проектов.

Ключевые слова: медленные сдвиговые волны, пальпация, колебания в белковых молекулах, Кортиев орган.

За 27 лет в одной лаборатории с С.Э. Шнолем, который являлся не просто моим научным руководителем, а, скорее, духовным наставником, я получил от него пример беззаветного служения науке и глубокого интереса к истории науки. Высочайшие человеческие качества и потрясающая эрудиция С.Э. делали взаимодействия с ним очень интересными и эффективными в решении как научных, так и организационных и бытовых пролем.

Круг научных интересов С.Э. Шноля всегда был чрезвычайно широк, а в начале 60-х гг. самой любимой темой Шноля были колебания в белковых молекулах. И ему надо было как-то доказать, что колебания одиночных молекул в растворе могут синхронизоваться и в результате могут получаться макроскопически регистрируемые колебательные процессы. Такие макроскопические эффекты могли бы возникать в силу каких-то кооперативных свойств воды, и должен существовать механизм координации ансамбля молекул, из которых формируется система. И вот в поисках

этого механизма, а именно пытаясь привязать это к свойствам воды, С.Э. совершенно невероятным образом обнаруживает какую-то небольшую, но фантастическую статью в сборнике трудов 60-го года Московского областного педагогического института. В этой работе некоего Б.Б. Кудрявцева было якобы экспериментально показано, что в желатиновых гелях, основным компонентом которых является вода, могут распространяться очень медленные акустические волны со скоростями в единицы метров в секунду. Главным выводом этой статьи было заявление, что в гелеподобных средах, примером которых могут служить мягкие биологические ткани, возможны два типа волн: общеизвестная быстрая волна со скоростью полторы тысячи метров в секунду и медленная волна со скоростью на два-три порядка медленнее. Как С.Э. откопал в каком-то сборнике трудов педагогического института эту маленькую статью, якобы открывающую новое физическое явление, это непостижимо. Он сразу же стал искать приложения этому новому явлению, и в частности попытался применить его для объяснения кооперативных свойств воды и механизма координирования кластеров водных молекул. Понимая слабость аргументов Кудрявцева, С.Э. попросил прокомментировать его статью физфаковских акустиков. Посмотрев статью, они посмеялись и сказали, что это просто бред: «Даже в воздухе звук идет со скоростью 300 метров в секунду, а вы хотите в этом геле получить единицы метров в секунду. Забудьте про это. Это не наука». Но С.Э. это не остановило. В подобных ситуациях он всегда оставлял место для сомнения. Кроме того, ему очень нравилась идея связать колебательные характеристики ферментов с акустическими явлениями в водных средах. Ему хотелось показать, что в разумном диапазоне частот, который привязан к биохимическим процессам, а именно к числу оборотов ферментов, где-то в районе единиц и десятков килогерц, можно получить с помощью медленных волн субмиллиметровые паттерны стоячих волн.

И вот Шноль, как человек с большой фантазией, всегда ищущий новые, яркие и пусть поначалу непонятные вещи, вызвал меня, дипломника кафедры биофизики, и попросил разобраться: «Может быть, что-то такое ты придумаешь, почему это возможно и для чего это может пригодиться». И я разобрался. Оказалось, что это вполне понятная физика, и основные экспериментальные результаты Кудрявцева воспроизводимы. Ошибочна лишь их интерпретация. Путаница началась с терминологии: Кудрявцев не вполне корректно назвал регистрируемую акустическую волну «медленным звуком». А под звуком, распространяющимся в разных средах: газах, жидкостях, твердых телах, обычно понимается объемно-упругая, продольная волна. В работе же Кудрявцева измерялась сдвиговая, т. е. поперечная, волна в геле. А скорость сдвиговой волны, как и любой другой волны, есть корень из соответствующего модуля упругости. Так как модуль сдвига геля очень маленький, то и корень из маленькой величины тоже маленькая величина. То есть это не медленный звук, а это медленные сдвиговые волны. И стало понятно, что никакого нарушения законов физики не наблюдается.

В 1968 г. в журнале «Биофизика» была опубликована наша совместная статья со Шнолем, где была описана природа низкой скорости сдвиговых волн в гелях. Шноль сначала отказывался быть соавтором этой статьи, но потом решил: «Нет, я напишу тогда про возможные биологические приложения такого явления, как медленная акустическая волна в биологических средах». В результате статья вышла под названием «Низкая скорость звука в гелях и протоплазматических структурах. Возможное биологическое значение этого явления». В описании этого биологиче-

ского значения Шноль дал волю своей фантазии и до настоящего времени предложенные им варианты биологических приложений медленных акустических волн только частично реализованы. Можно считать, что предположение Шноля о том, что физический механизм дифференцировки звуков по частоте в Кортиевом органе связан со сдвиговыми свойствами гелеобразных структур, частично оправдалось, но идеи о механизме действия низкочастотного звука на биологические ткани и о морфогенетическом акустическом поле еще требуют подтверждения.

После опубликования статьи в «Биофизике» наши взаимодействия со Шнолем по этому предмету прекратились, и я независимо от него углубился в изучение медицинских приложений сдвиговых волн. Сдвиговая упругость, которую можно мерить с помощью сдвиговых волн, является одной из самых чувствительных структурных характеристик мягких тканей. По-видимому, нет ни одного другого физического параметра ткани, который меняется в таких больших пределах, в три-четыре порядка, от долей до сотен килопаскаль, в зависимости от вариации нормы и патологии.

Пальпация, древнейший метод оценки упругих характеристик тканей для диагностических целей, до сих не полностью потеряла свое практическое значение. Когда врач прощупывает, пальпирует орган, пытаясь определить наличие твердой опухоли, ее границы, что он делает? Он пальцем фактически оценивает модуль сдвига. Но то, что раньше можно было определить только с помощью субъективной пальпации, оказалось возможным мерить с помощью сдвиговых волн.

Исходное предложение Шноля разобраться в том, какая физика может стоять за медленными волнами в гелеобразных средах и какие у них могут приложения, стало для меня делом всей жизни. Большая часть моей научной карьеры и многое из того, чего я достиг, связано с этими волнами. Направление, основание которого заложил Шноль и которым я занимался и продолжаю заниматься, сейчас стало большим разделом биомедицинской науки и послужило основой для создания многих новых диагностических методов и приборов.

Должен отметить исключительную творческую свободу, царящую в лаборатории С.Э., характерную для любых новых проектов. За время своей аспирантуры я трижды полностью менял темы своей работы, увлекаясь какими-то новыми проблемами, и не встречал никаких ограничений со стороны своего научного руководителя С.Э. Шноля. Обсудив с С.Э. новую интересную проблему, легко было получить его благословение и начать работу. Вот характерный пример терпимости С.Э. к заскокам своих подчиненных. Когда я решил, что пора написать кандидатскую диссертацию, я пришел к С.Э. и спросил его, какое число он любит. Он засмеялся и сказал: 33! Через три недели я пришел к нему с готовой диссертацией, в которой было 33 рисунка, 33 формулы, 33 ссылки и 99 страниц текста. С.Э., зная, что к научному содержанию не должно быть претензий, оценил юмор и долго веселился. Вообще-то он был веселый человек. Приведу пример его шуток. Он как-то сказал: «Мне в жизни здорово не повезло. Понимаете, я не произношу букву “ррр”, а у меня собака эрррдель-терррьеrrr, а заместитель Ааррмен Паррруйррович Саррвазян».

Вечная память Симону Эльевичу!

At the origins of elastography

ARMEN P. SARVAZYAN

Artann Laboratories, Lambertville, USA; armen@artannlabs.com

Armen Paruyrovich Sarvazyan is a biophysicist and a corresponding member of the Russian Academy of Sciences. For many years, he worked with S.E. Shnoll at the Institute of Biological Physics of the USSR Academy of Sciences. The author recalls how experimental data on slow acoustic waves in gels, published in the early 1960s, seemed grossly erroneous to many qualified physicists, yet attracted the attention of S.E. Shnoll. Shnoll's proposal to explore the physical nature of the phenomenon became the author's lifelong endeavor. This line of research, initiated by S.E. Shnoll and further developed by A.P. Sarvazyan, has now grown into a significant area of biomedical science, providing a foundation for many new diagnostic methods and devices. The author also recalls S.E. Shnoll's good humor and the complete creative freedom that prevailed in his laboratory and facilitated the initiation of any new projects.

Keywords: shear wave elastography, palpation, oscillations in protein molecules, organ of Corti.