

**Над чем  
работают  
ученые края**

## **СТАВРОПОЛЬСКАЯ ШКОЛА ФИЗИКИ КИПЕНИЯ**

Что  
это  
такое?

*С таким вопросом мы обратились к доктору физико-математических наук профессору Ефиму Израилевичу Несису, под руководством которого, вот уже несколько лет, на кафедре теоретической физики Ставропольского педагогического института изучают некоторые стороны процесса кипения.*

*Вот что ответил Ефим Израилевич.*

Невидимый в истории размах получило за последнее время развитие техники. Мы к этому привыкли, и нас уже не удивляют сообщения о многих новых достижениях технической мысли: так и должно быть. Это верно: так и должно быть.

Ну, а все-таки, давайте вспомним, что произошло на наших глазах за какие-нибудь десять-двадцать лет.

Построены атомные реакторы, а на их основе атомные электростанции, ледоколы, подводные лодки.

Космические ракеты преодолели притяжение Земли и летят на другие планеты Солнечной системы.

Самолеты преодолевают расстояние со сверхзвуковой скоростью.

Воды океанов бороздят теплоходы, электроходы — целые плавучие города.

Автомобили превратились в предмет первой необходимости.

Фантастические по своей мощности электростанции снабжают нашу страну электроэнергией.

Тысячи заводов и фабрик производят миллионы самых различных изделий, без которых немислима жизнь

современного человека.

Машины, машины, машины. Всюду, везде.

И, обратите внимание, одна из особенностей современной техники: всюду и везде технике сопутствует тепло, тепловая энергия.

Но тепловая энергия не только полезная, движущая сила. Она же несет в себе и другое начало: разрушение. Тепловая энергия, используемая, скажем, в моторе внутреннего сгорания, не только заставляет мотор работать, но она же, нагревая материал, из которого сделан мотор, разрушает его.

А что говорить о таких температурах, которые образуются в реактивном двигателе современного самолета или в атомном реакторе?

И раньше во избежание тепловых разрушений в технике приходилось охлаждать греющиеся при работе агрегаты — моторы, трансформаторы, генераторы и т. п. Для этого обычно использовали либо воздушное охлаждение (скажем, обдув), либо жидкостное (водяные радиаторы, погружение в масло). Но для современной высокотемпературной техники эти способы недостаточно эффективны. Потребовалось изыскать такие процессы, при которых теплота от горячих поверхностей отымалась бы более быстро, чем при обдувании воздухом или обмывании холодной водой.

Этого можно достигнуть, как это ни странно покажется на первый взгляд, путем применения процесса кипения. Вы спросите: кипящая вода горяча, как же она может охлаждать другие тела? Действительно, не очень горячие тела охлаждать кипящей водой не удастся. Но

если необходимо помешать интенсивно греющемуся блоку реактора достигнуть температуры в  $1000^{\circ}$  Цельсия, то лучше всего погрузить его в жидкость (в частности, жидкие металлы), которая будет при этом кипеть.

Кипение... Кому не приходилось кипятить чай, молоко, варить, то есть кипятить суп или варенье? И поскольку с кипением встречаемся на каждом шагу, то принято считать его не только привычным, но и простым процессом.

Что это не так, видно даже из такого элементарного примера: достаточно в сосуд с кипящей водой налить ложку масла — характер кипения и сопровождающего его шума резко меняется.

Или вот другой пример. Издавна известно, что при кипячении воды в ней погибают микробы. Объясняли этот факт просто тем, что микробы (живые организмы) не выдерживают температуры кипения воды (равной в обычных условиях  $100$  градусам Цельсия). Однако недавние исследования советских биофизиков во главе с профессором Эльпинером показали, что в уничтожении бактерий главную роль играют ультразвуковые волны, излучаемые при кипении мельчайшими пузырьками пара.

Кипение, характерной особенностью которого является образование пузырьков в жидкости, довольно сложный физический процесс, широко распространенный в современной технике: ядерной энергетике, ракетостроении, теплотехнике, металлургии, химической и пищевой промышленности. Различные типы кипения непрерывно происходят и в живой природе — в растениях и в организмах животных и людей. На каждом шагу мы сталкиваемся с этим явлением. Когда открываем бутылку нарзана и при этом возникает множество пузырьков — мы наблюдаем особый вид кипения. При быстром подъеме с большой глубины водолаз может заболеть так называемой «кессонной болезнью» — это не что иное, как своеобразное

«холодное» кипение крови, то есть растворенные в крови газы из-за быстрого падения давления выделились в виде пузырьков и закупорили кровеносные сосуды. При быстром вращении корабельного винта следом за ним в воде образуются полости или пузыри, содержащие главным образом водяной пар. Указанное явление называется кавитацией — это тоже определенный вид кипения. Отличительной особенностью кавитационного кипения является недолговечность паровых пузырей, которые быстро захлопываются окружающей жидкостью, в результате чего возникают мощные ударные волны, разрушающие поверхность винта или других быстро движущихся под водой тел.

Кипение — это быстро переменный нестационарный процесс, на характер протекания которого оказывает влияние множество самых различных факторов — внешнее давление, чистота и шероховатость дна и стенок сосуда, степень чистоты и дегазированное жидкости, интенсивность подогрева и ряд других. Поэтому очень трудно вести процесс в нужном режиме, особенно в промышленных условиях, когда кипение происходит часто при больших давлениях и температурах, в условиях трудно доступных не только для управления, но даже наблюдения за ним. Например, в мартеновской ванне, где варят сталь, иногда выделяются мелкие газовые пузырьки, а в другом случае, как будто при тех же условиях, сталь кипит, как говорят сталевары, «крупным пузырем». А это приводит к совершенно иным свойствам и качеству выплавляемой стали.

Еще сложнее регулировать ход кипения жидких металлов внутри ядерных реакторов или ракет, управляемых с помощью телеавтоматики и радиоэлектроники.

Теперь вам понятна важность тщательного изучения процесса кипения и сложность задачи?

Изучением некоторых сторон процесса кипения в течение ряда лет и

занимается кафедра теоретической физики Ставропольского педагогического института.

Много трудностей пришлось нам преодолеть: отсутствие современного оборудования и недостаток помещения, нехватка квалифицированных кадров и затруднения с получением специальных зарубежных журналов, загруженность учебной работой и скептическое отношение некоторых сотрудников, считавших, что эта задача не «по нашим провинциальным зубам».

Однако постепенно удалось все эти препятствия преодолеть, и мы начали проникать в сущность тех многообразных явлений, которые имеют место при кипении различных жидкостей.

Основную задачу, которую мы перед собой поставили, это выяснить, нельзя ли о характере кипения судить по тому звуковому сигналу — шуму, который сопровождает этот процесс. Если такая возможность существует, считали мы, то это имело бы огромное теоретическое и практическое значение. Ведь звуковые колебания легко превратить в колебания электрические, а последние по проводам или эфиру передать на любое расстояние. Таким образом можно было бы дистанционно управлять ходом процесса кипения, скажем, внутри ядерного реактора или космической ракеты.

Провести такое исследование оказалось не простым делом. Прежде всего характер звука при кипении жидкости из-за искажений, вызываемых отражениями звуковых волн от стенок и дна сосуда, в значительной степени зависит от его размеров и формы.

Простейший опыт: приоткройте крышку кипящего чайника. Замечаете, как изменяется тональность шума.

Но есть и другие серьезные трудности в изучении шума кипения.

Однако, в конце концов, их удалось устранить. И в этом прежде всего заслуга старшего преподавателя нашей кафедры Бориса Михайловича Дорофеева. После долгих поисков ему удалось решить проблему: как устранить

вредное отражение звука от стенок сосуда.

В качестве сосуда была выбрана большая сферическая колба, причем жидкость кипятилась на поверхности маленького нагревателя, расположенного строго в центре сферы. Конечно, и в такой колбе звук отражался от стенок, но из-за шарообразной формы сосуда отраженные звуки приходят в центр со всех сторон в равной степени и поэтому общее искажение звуковой картины можно легко учесть.

Изобретенная Б. М. Дорофеевым установка, названная им «сферическим звуко-г.ым интерферометром», получила высокую оценку специалистов.

Наконец все трудности с измерением шума в кипящей воде преодолены, но как сопоставить полученную звуковую картину с очень кратковременным процессом возникновения, роста и отрыва пузырьков пара (длительность такого элементарного зк- . та равна примерно одной тысячной доле секунды).

И вновь потребовалось оригинальное конструктивное решение. Б. Дорофеев, В. Токмаков и Е. Четвериков собрали специальную радиоэлектронную схему, позволяющую синхронно кинематографировать с большой скоростью (5000 кадров в секунду) рост пузырька, следить при этом за температурой кипятильника, жидкости и пузырька и одновременно регистрировать и анализировать звуковой импульс, порождаемый пузырьком.

В итоге этих и ряда других экспериментов удалось подтвердить наши теоретические предположения о том, что звуковой шум содержит в себе важную информацию о механизме превращения жидкости в пар. Более того, все эти исследования позволили нам окончательно выяснить саму причину образования звука при кипении. До недавнего времени в учебниках физики объясняли возникновение этого шума тем, что пузырьки пара, всплывая, попадают в холодные слои жидкости, которая их при этом как бы захлопывает,

порождая звуковые удары, тогда еще аспирант нашего института, В. В. Чеканов простыми опытами доказал, что это объяснение неверно. Дальнейшее теоретическое и экспериментальное изучение вопроса убедило нас, что решающую роль в изучении звука играют те пузырьки, которые еще не оторвались от горячей поверхности. При этом пузырьки периодически меняют свой объем — то растут, то сжимаются. Вот эти пульсации пузырьков и порождают звук. Чем чаще пульсирует пузырек, тем выше тон излучаемого звука. Что касается громкости шума, то она зависит от количества пузырьков и от размаха их пульсаций.

Интересные исследования самого механизма возникновения роста и отрыва пузырьков проводит в нашей лаборатории аспирантка Т. С. Чигарева. С помощью скоростной микрокиносъемки (то есть киносъемки через микроскоп), а также современных математических методов ей удалось внести важные поправки в считавшиеся неизблемыми представления об этих физических явлениях.

Новые ценные сведения мы надеемся получить из экспериментов молодого аспиранта В. Комарова, который изучает особенности кипения в условиях повышенного и пониженного тяготения.

Вы понимаете, что в этой беседе не возможно рассказать о всех ведущихся у нас исследованиях, многие из которых еще далеки от завершения. Но и те первые результаты, о которых я вам рассказал, позволяют нам уже сейчас оказывать помощь некоторым предприятиям и научным учреждениям в решении важных технических задач. Труды ставропольской школы физики кипения получили всеобщее признание не только в СССР, но и за рубежом. Большая группа наших сотрудников недавно с успехом выступила на крупных научных конференциях в Новосибирске и Ленинграде. В августе 1967 г. в Ставропольском педагогическом институте происходил Всесоюзный

симпозиум по физике кипения. В нем приняли участие виднейшие ученые страны: академик И. В. Петрянов-Соколов, профессора С. С. Кутателадзе (Новосибирск), Н. А. Фукс, Г. М. Бартенев, М. Г. Сиротюк (Москва), И. З. Копп (Ленинград) и другие ученые из различных городов нашей страны. Все представленные нами на симпозиум доклады вызвали большой интерес и получили всеобщее одобрение.

Мы знаем, что полученные результаты являются только первыми шагами, — я это хочу подчеркнуть, — именно первыми, потому что нам еще предстоит решить более крупные задачи. Вот, когда это будет сделано, мы сможем сказать, что ставропольские физики внесли достаточный вклад в развитие советской физики и техники.