

О СВЕРХТЕКУЧЕСТИ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ-II ¹⁾

П. Л. Капица

О сверхтекучести жидкого гелия я докладывал Академии Наук СССР два с половиной года назад¹. С тех пор, продолжая работать в этой области, мы получили новые результаты, с нашей точки зрения, представляющие научный интерес и дающие возможность более полно осветить эти интересные явления. Но прежде чем говорить об этих новых явлениях, разрешите мне напомнить Вам хотя бы в общих чертах содержание моего предшествующего доклада, которого некоторые из Вас могли не слышать. Иначе, я боюсь, наши новые работы, являющиеся продолжением прошлых, не будут достаточно понятны.

Изучение жидкого гелия и его свойств относится к области физики наиболее низких температур. Это одна из тех областей физики, где стремятся изучать явления природы в крайних условиях. Вице-президент Академии Наук СССР академик А. А. Байков в своём вступительном докладе на этой сессии, я думаю, совершенно правильно указал, что самых больших успехов, действительно крупных изменений в технике мы можем ждать, когда переходим к крайним условиям. Это ещё в большей степени относится к науке. Открытия новых интересных явлений мы можем скорее всего ожидать тогда, когда изучаем природу в крайних, допустимых для неё, условиях, как, например, при исключительно сильных магнитных полях, высоких давлениях, высоких электрических напряжениях и т. д., а также в области глубокого холода, приближающегося к абсолютному нулю. Здесь мы тоже можем надеяться обнаружить новые явления, такие свойства природы, которые в обычных условиях либо ускользают от наблюдения, либо просто даже не происходят. В этом отношении область температур вблизи абсолютного нуля особенно интересна. Работы последнего десятилетия это подтвердили со всей очевидностью.

Позвольте вам напомнить, что такое абсолютный нуль температурной шкалы. Последнее определение абсолютного нуля — $-273,13^{\circ}\text{C}$. Известно, что самого абсолютного нуля мы никогда не сможем достигнуть. Обычное, школьное, определение абсолютного нуля говорит, что это — та температура, при которой прекращается тепловое движение материи. Но это определённо неточно. С современной точки зрения, основывающейся на теории квантов, допускается существование движений при абсолютном нуле. Энергия этого движения вполне определённая и является тем минималь-

¹⁾ Доклад на общем собрании Академии Наук СССР в Москве 27 сентября 1943 г.

ным молекулярным движением, которое в данном веществе может существовать. Приведу простой пример. Если Вы будете сильно нагревать вещество, то электроны атомов, которые движутся вокруг атомного ядра по определённым орбитам, будут под воздействием температурных движений отрываться, отлетать, наступит так называемая диссоциация. При охлаждении вещества движение атомов замедляется, электроны начинают опять обращаться по своим орбитам и до самого абсолютного нуля сохраняют своё движение. Но, кроме движения электронов по орбитам каждого атома в отдельности, ещё есть целый ряд комбинированных движений в твёрдом теле, которые с современной точки зрения должны сохраняться до самых низких температур. Благодаря этому так называемому вырождению движения, в этой области температур и могут появиться совершенно новые явления, которые мы не можем наблюдать при обычных температурах. Одно из таких интересных явлений, которое уже приобрело широкую известность, открыто более 30 лет назад Камерлинг-Оннесом — это явление сверхпроводимости. Оно заключается в том, что при очень низких температурах электрический ток получает возможность течь по некоторым проводникам без сопротивления, без образования тепла. Опыт показывает, что, если в замкнутом сверхпроводнике индуктивным путём возбуждается ток, он течёт, не выделяя тепла и не убывая, столько времени, сколько экспериментатору удавалось его наблюдать. Другим из таких явлений, которые можно обнаружить только при очень низких температурах, является найденная нами 5 лет назад в жидком гелии сверхтекучесть.

Исследования этого и других явлений вблизи абсолютного нуля производятся посредством самого жидкого гелия, как холодильного агента. Жидкий гелий — это единственное известное вещество, которое даже при самых низких температурах, вплоть до тысячных долей градуса от абсолютного нуля, при нормальном давлении остаётся жидким и не переходит в твёрдое состояние. Его можно превратить в твёрдое тело только при давлении, начиная с 25 атм.

Сам по себе жидкий гелий представляет чрезвычайно интересный объект для изучения.

Гелий оживает при температуре $4,8^{\circ}\text{абс.}$ и образует лёгкую, весящую раз в 7—8 меньше воды, и прозрачную жидкость. Из-за небольшой теплоёмкости жидкий гелий во время опыта приходится держать за хорошей теплоизоляции в вакуумном дьюаровском сосуде, ещё окружённом другим таким же сосудом с жидким воздухом. Экспериментирование с жидким гелием представляет значительные технические трудности. Это объясняет то, что до сих пор только в нескольких лабораториях холода во всех странах жидкий гелий получается в достаточных количествах.

Если понижать температуру жидкого гелия от точки его сжижения ($4,8^{\circ}\text{абс.}$), то, когда мы достигнем температуры $2,19^{\circ}\text{абс.}$, он претерпевает изменения, и принято говорить, что гелий-I переходит в гелий-II. Эту температуру называют λ -точкой. Находясь в своём первоначальном состоянии, жидкий гелий обычно непрерывно кипит благодаря малейшему доступу тепла, которого трудно избежать даже при наилучшей

теплоизоляции. Ниже λ -точки гелий вдруг перестаёт кипеть, поверхность его становится гладкой; это связано с изменением ряда физических свойств жидкого гелия. Новое состояние жидкого гелия было впервые обнаружено Камерлинг-Оннесом, начало изучаться Кеезом и оказалось чрезвычайно любопытным.

Кеезом² нашёл, что гелий-II приобретает в этом состоянии большую теплопроводность. Теплопроводность его, изучаемая в капиллярах, оказалась во много раз больше, например, чем у меди или серебра, — наиболее теплопроводных металлов. Поэтому Кеезом и назвал жидкий гелий-II сверхтеплопроводным веществом. Я повторил опыт Кеезома в несколько изменённых условиях и в результате получил ещё большую теплопроводность.

Попытка осветить экспериментальные данные на основании современных взглядов на теплопроводность вскрыла глубокое противоречие между теорией и опытом. Я не буду вдаваться в подробное описание довольно сложных теоретических воззрений на теплопроводность, как они даны в основном Дебаем. Физическую картину теплопроводности мы можем представить себе так: повышение температуры какого-либо тела в какой-либо точке увеличивает среднюю скорость колебательного движения молекул вещества; при этом тотчас начинается процесс выравнивания: более «горячие», т. е. более возбуждённые, молекулы воздействуют на соседние и их приводят в движение. Этот процесс последовательного выравнивания скоростей будет распространяться всё дальше и дальше от нагретого места, т. е. будет иметь место процесс распространения тепла, который мы и называем теплопроводностью. Более подробный анализ, произведённый на основании этих воззрений на теплопроводность, показывает, что для каждого тела в природе есть предельное количество тепла в единицу времени, которое можно через него провести. Оказалось, что такую большую теплопроводность, которая экспериментально была обнаружена в наших последних опытах в жидком гелии-II, с помощью этих воззрений объяснить нельзя. Выход из этого противоречия мы можем искать, либо отказавшись от основных взглядов на механизм теплопроводности, которые прочно установились в науке, либо надо признать, что явление теплопроводности в гелии-II обязано своим происхождением какому-либо иному механизму.

Как известно, тепло может передаваться не только посредством описанного механизма, как оно распространяется в твёрдых телах и как, предполагалось, оно распространяется в жидком гелии в узких капиллярах. Тепло может ещё передаваться в жидких и газообразных телах посредством так называемых конвекционных потоков. Например, конвекционные потоки в воздухе хорошо известны каждому из Вас, Вы их неоднократно ощущали, когда держали руку над теплым радиатором. Та же рука совсем не чувствует тепла, если её держать на этом же расстоянии от радиатора, но внизу, так как здесь нет восходящих потоков нагретого воздуха, которые конвекционным путём уносят тепло вверх. Если интенсивную передачу тепла в жидком гелии нельзя объяснить с точки зрения обычного механизма теплопроводности, то мне думалось, что, может быть, здесь имеет место как раз именно конвекционная передача тепла. Для

этого нужно предположить, что в жидком гелии-II чрезвычайно легко возникают потоки жидкости, которым и обязана чрезвычайно большая способность гелия-II переносить тепло. Подсчёты показали, что такая интенсивность, с которой в жидком гелии передавалось тепло, могла быть осуществлена только такими конвекционными потоками, которые должны течь в этой жидкости с необычайной лёгкостью. Поэтому, по аналогии со сверхпроводимостью, я предположил, что гелий-II при сверхнизких температурах представляет собой жидкость чрезвычайно текучую, т. е. такую жидкость, которая не имеет вязкости. Оставалось проверить это опытом.

Наблюдать небольшую вязкость, да ещё при низкой температуре оказалось нелёгкой экспериментальной задачей. Надо было найти специальный метод для её измерения. Когда был найден и разработан необходимый метод, то само наблюдение не заняло много времени и показало, что вязкость жидкого гелия действительно исчезающе мала³. По нашим последним измерениям она не больше чем 10^{-11} пуаза. Если вязкость обычной воды при комнатной температуре 0,01 пуаза, то жидкий гелий оказался более чем в миллиард раз более текучей жидкостью, чем вода. Такую текучую среду очень трудно себе представить, а между тем, приведённое число означает предел не вязкости, а только чувствительности наших измерений. Более чувствительного метода мы пока не имеем. Поэтому я предположил, что есть все основания считать, что жидкий гелий не имеет вязкости; я назвал его сверхтекучим. Сначала это встретило большие возражения. Искали в моих опытах экспериментальные ошибки в методике, в измерениях и прочее. Открытие сверхтекучести в жидком гелии, таким образом, всесторонне обсуждалось, и теперь можно, я думаю, считать признанным существование сверхтекучего состояния в гелии-II.

Когда это явление было впервые сформулировано, нам казалось, что сверхтекучесть гелия-II вполне достаточна, чтобы объяснить большую теплопроводность, наблюдавшуюся в жидком гелии в соответствии с той картиной существования конвекционных потоков, которую я вам только что набросал. Но дело оказалось гораздо интереснее и сложнее, чем мы думали вначале.

Рассказ о том, как развивались наши взгляды на этот вопрос дальше, представляет некоторые трудности. Аудитория большая и разнообразная, а в этих вопросах мы ещё сами не решили ряд противоречий. Всё-таки я попытаюсь рассказать, с какими противоречиями мы сталкивались, как менялись наши взгляды и как постепенно складывались у нас представления, которые выглядели бы ни с чем несообразной фантастикой, если бы их изложить вне связи с реальными опытами.

Если стоять на точке зрения наших обычных механических представлений, вполне исчерпывающе описывающих поведение обычных веществ при обычных условиях, то оказывается, что сверхтекучий гелий, как показывает опыт, не может переносить тепло столь интенсивно, как требует измерение конвекционных потоков. Мы упираемся в трудность найти механизм, который мог бы вызвать необходимое быстрое течение гелия при конвекции. В обычном механизме переноса тепла конвекцией мы

обязаны движением среды тому, что более нагретая жидкость или газ становятся несколько менее плотными, почему стремятся кверху, как бы всплывая в более плотной среде, а более холодные, более плотные, стремятся вниз, «тонут». Происходит перемешивание, причём очевидно, что причина, вызывающая движение, это — сила тяжести. Но подсчёт показывает, что этой силы в гелии-II недостаточно, чтобы вызвать такую большую теплопроводность, которая наблюдалась на опыте. Это делало явление опять непонятным. Надо было искать для его объяснения какие-то другие, новые механизмы. Рядом опытов, наконец, удалось натолкнуться на совсем новый механизм движения жидкого гелия-II.

Оказалось, что под влиянием разности температур в жидком гелии-II возникают очень сильные потоки, несколько напоминающие конвекционные. Под действием разности температур жидкость приходит в движение, но это движение совершенно особого рода, специфичное для жидкого гелия-II, — неизвестное ни в какой другой жидкости и ни в каких других условиях. Прежде чем пытаться объяснить сущность этого движения, познакомимся с его особенностями. Посмотрим, как оно выглядит на эксперименте. Я не буду описывать технических подробностей этого эксперимента, что было сделано мною в моём предыдущем сообщении. Основные его особенности вы можете себе представить из схемы, изображённой на рис. 1.

В сверхтекучий гелий-II погружена колбочка 1. В широкой части этой колбочки помещена нагревательная спираль 2, а колбочка открыта

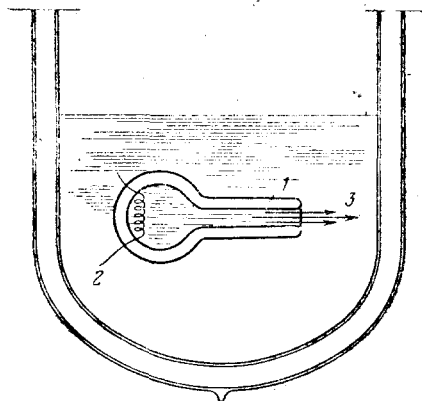


Рис. 1

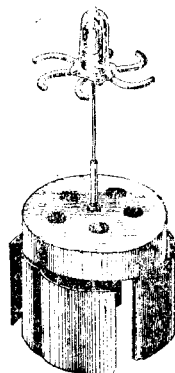


Рис. 2

с одной стороны 3. Когда к нагревателю 2 подаётся ток, около горлышка 3 колбочки обнаруживается непрерывный поток вытекающего из неё гелия. Поток этот может быть обнаружен и даже измерен с помощью лёгкого крылышка, если его подвесить у горлышка. Поток на него давит и отклоняет его.

Некоторое, более эффектное и поучительное, видоизменение этого опыта для целей демонстрации было снято на кинолентку (один из кадров которой приводится на рис. 2). Схема заснятого в действии при-

бора изображена на рис. 3. Стекланный «паучок» состоит из «бульбочки» 2, снабжённой несколькими выводными трубочками, отогнутыми в одну сторону. Таким образом, вся эта конструкция повторяет известное «сегнерово колесо» (только по внешности, конечно; рассмотрев его, легко убедиться, что у «паучка» нет сквозного протока для жидкости). Бульбочка поставлена на ось из острий иголки 1. Весь «паучок» погру-

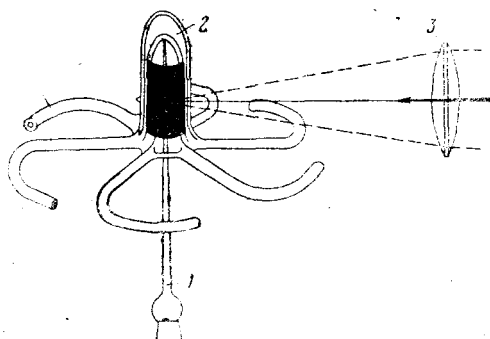


Рис. 3

жён в жидкий гелий. Гелий, находящийся в бульбочке, может быть нагрет с помощью лучка света через линзу 3. Этот пучок света, падающий на зачернённую часть внутри бульбочки, играет роль нагревателя, которым в предыдущем опыте была спираль. Из трубочек — «ножек» — паучка, так же как из шейки колбочки в предшествующем опыте, при нагревании среднего сосуда происходит непрерывное вытекание струи. Под давлением

вытекающих струй происходит вращение всего «паучка», которое видно на экране.

Съёмка этого опыта трудна. Жидкий гелий совершенно прозрачен и коэффициент преломления в нём луча света таков, что его очень трудно рассмотреть через стекло. Не легко также проводить эксперимент в условиях общей яркой освещённости, которая необходима для съёмки. Поэтому понадобилось значительное искусство кинооператоров Московской кинохроники, чтобы эту съёмку произвести.

Обратимся снова к рис. 1. Теперь я обращаю ваше внимание на самый большой парадокс этого опыта. Если мы обнаруживаем всё время вытекающую из колбочки жидкость и при этом в колбочке не образуется пустоты, это значит, что жидкость должна также всё время натекал в колбочку. Как же жидкость попадает в колбочку? Не может же она вытекать, не попадая туда. Стенки у колбочки двойные, простенки между ними эвакуированы и очевидно, что жидкость не может проходить через них. Посредством крылышка, располагавшегося в самых разнообразных положениях у горлышка, никак не удалось обнаружить существования обратного потока. Поэтому первоначально мы решили, что должен существовать поток вдоль очень тонкого слоя у самых стенок (тогда он не мог бы быть обнаружен крылышком). Но при дальнейших опытах эта гипотеза оказалась недостаточной. Я стал менять условия опыта: вместо колбочки с широким горлом я применял очень узкие щели. Идея этих опытов состояла в том, чтобы по возможности занять всё сечение щели обратным пристенным потоком и таким образом попытаться изменить характер наблюдаемых явлений. Щель в этих опытах изготовлялась очень точно из тщательно (оптически) отполированных поверхностей и имела ширину до $0,14 \mu$, т. е. порядка де-

сятитысячных миллиметра. Но изменений в характере явлений не было обнаружено.

Таким образом, явление становилось всё загадочнее.

Перед тем как рассказать, как оно теперь объясняется, я хочу упомянуть ещё о некоторых опытах.

Прежде всего позвольте остановиться на понятии обратимости тепловых явлений. Это понятие впервые установлено ещё более ста лет назад Карно; оно даёт чрезвычайно важную связь между возможностями перехода работы в тепло и обратно. Обратимыми явлениями в термодинамике считаются такие теоретические процессы, когда тепло превращается в работу и, обратно, работа в тепло, причём при этом не происходит рассеяния тепла. Полностью обратимых процессов вообще в природе не существует, но к ним можно подходить очень близко. Переход тепла в движение гелия, которое мы наблюдаем, например, в нашем «паучке» на рис. 2 и рис. 3, надо было в первую очередь изучить и с этой точки зрения. Если разность температур между гелием в колбочке и наружным гелием вызывает движение гелия и если это явление обратимо, то теоретически должно существовать и обратное явление: при вынужденном движении гелия должна появиться и разность температур. Если эти явления обратимы, то они должны быть связаны между собой определёнными количественными соотношениями.

В опыте со щелями удалось показать, что при перепаде давления, заставляющем перетекать через щель жидкий гелий, действительно возникает разность температур. Удалось количественно измерить все необходимые величины и показать, что все эти явления в жидком гелии-II действительно протекают термодинамически обратимо. Если при этом помнить, что гелий-II сверхтекуч и что поэтому при его течении нет потерь на трение, то нетрудно видеть, что механизм температурного течения гелия работает с хорошим коэффициентом полезного действия. Таким образом, например, наш вертящийся «паучок» на рис. 2 и 3 представляет собой машину с хорошим коэффициентом полезного действия. Конечно, никакого практического применения такой механизм иметь не может, и трудно ждать, чтобы когда-нибудь его получил.

Но тут следует отметить, что это удивительное термодинамическое свойство гелия-II, открывающее совсем новый путь к переводу тепла обратным путём непосредственно в механическую работу, не имеет ничего похожего в известных нам до сих пор явлениях природы.

Обратимость термомеханических, точнее термодинамических явлений в жидком гелии представляется нам чрезвычайно важным обстоятельством и для дальнейшего изучения явлений при низких температурах. Предположим, что у нас есть капилляр 1 (рис. 4) с двумя сосудами на разных уровнях. Между концами его мы создаём разность давления. Это мы можем сделать и поместив сосудик 2 на конце капилляра выше сосудика 3

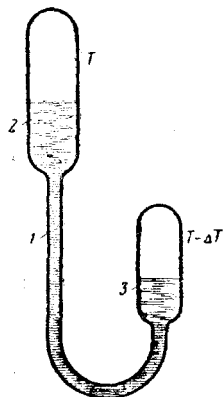


Рис. 4

на другом его конце. Тогда в результате особых свойств гелия и обратимости процесса у нас на концах капилляра в сосудах 2 и 3 возникает разность температур ΔT . В низком резервуаре 3 гелий-II станет более холодным.

Таким образом, у нас есть метод понижения температуры гелия-II, который состоит в том, чтобы заставить гелий-II течь под давлением. Конечно, рис. 4 является только схематической иллюстрацией этого принципа, на самом деле опыт, разумеется, сложнее.

Но поскольку это явление остаётся обратимым до самых низких температур, возникает возможность сделать очень интересные практические выводы. Если проталкивать гелий насосиком или каким-либо другим путём через тонкие капиллярные щели в некоторый объём, — температура в этом объёме ощутительно понизится. Повторяя эту операцию несколько раз, мы получаем *a priori* метод для понижения температуры сколь угодно низко, и, таким образом, для нас откроется путь приближения к абсолютному нулю сколь угодно близко. Этот вывод имеет важное значение для экспериментатора, поскольку до сих пор не существовало ещё метода, даже теоретического, для приближения к абсолютному нулю сколь угодно близко. Самым эффективным являлся до сих пор метод магнитный (основанный на размагничивании парамагнитных солей, связанным с их охлаждением), который как теоретически, так и практически имел свои ограничения. Этот путь, указанный сперва Ланжевенем и далее развитый Дебаем и Джиоком, позволил достигнуть температур порядка $1/100$ градуса от абсолютного нуля. Но этот магнитный метод имеет теоретические пределы для получения низких температур, обусловленные взаимодействием магнитных моментов атомов охлаждаемых солей. Между тем, мы не видим ещё причины, почему мы не можем посредством описанного метода протекания жидкого гелия-II как угодно близко приближаться к абсолютному нулю, используя эти особые свойства жидкого гелия-II как холодильного агента.

Как раз накануне войны мы начали в наших работах развивать этот метод и сделали несколько успешных опытов в этом направлении. Мне удалось этим методом получить понижение температуры на $0,4^\circ$. Но после эвакуации в Казань работу с гелием восстановить нельзя было. Теперь эти опыты мы предполагаем продолжить. Конечно, получение температур в непосредственной близости к абсолютному нулю новым методом является технически нелёгкой задачей и сразу на его удачу рассчитывать трудно. Тут много технических трудностей и успех во многом зависит от искусства и изобретательности экспериментатора. Но все эти возможные затруднения не будут означать, что существуют какие-то принципиальные запреты для приближения к абсолютному нулю.

Но перейдём теперь к теоретическому объяснению механизма явления вытекания жидкого гелия из сосуда при его нагревании (рис. 1). Как я уже говорил, первоначально я объяснял явление заполнения сосуда гелием течением гелия в обратном направлении в тонком слое. Я предполагал также, что энергетическое состояние гелия-II в этом тонком слое отличается от энергетического состояния свободного гелия-II, и,

таким образом, можно было объяснить кажущуюся большую теплопроводность гелия. Так же можно было примерно подсчитать возможную толщину этого слоя так, чтобы скорость течения гелия в нём не принимала чрезмерно большое значение. Далее, как говорилось, я пытался в своих опытах обнаружить толщину этого слоя экспериментально. Для этого я заставлял течь гелий в очень тонком слое. Постепенно я дошёл до толщины слоя гелия в $0,00014$ мм, но опыт показал, что характер всех явлений при этом сохранился. Таким образом, это объяснение пришлось пересмотреть, и это привело к совершенно новым воззрениям на природу гидродинамических явлений в гелии-II. Первые наброски этих идей были высказаны Тиссой⁴, но научная разработка их, подведение под них теоретического обоснования и создание гидродинамической теории явлений принадлежат нашему ученому Л. Ландау⁵.

Постараюсь дать самую общую картину этих взглядов. Согласно этой теории тот противоток, который я пытался объяснить течением гелия в одном энергетическом состоянии по стенке другого внутри бульбочки, заменяется противотоком гелия, происходящим в самом себе.

Объяснение этого явления, данное Ландау, заключается в следующем.

Жидкий гелий представляет собой как бы смесь двух жидкостей. Эти две компоненты жидкого гелия находятся в двух различных квантовых состояниях. Благодаря этому он показал, что могут существовать одновременно встречные течения одной и той же жидкости, которые мы и наблюдаем в горлышке сосуда на рис. 1.

Если бы это теоретическое положение не было так полно подтверждено экспериментальными доказательствами, оно звучало бы как идея, которую очень трудно признать разумной.

Теория Ландау хорошо описывает физическую сущность тех двух состояний, в которых гелий может одновременно существовать при температурах ниже λ -точки. Как я уже говорил, если гелий после сжижения продолжать охлаждать, то он находится в состоянии обычной жидкости вплоть до $2,19^\circ$ абс., т. е. λ -точки. Тогда согласно теории Ландау в этой жидкости появляется в качестве как бы примеси гелий в новом состоянии. Это новое состояние характеризуется с термодинамической стороны нулевой энтропией, а физически в нём отсутствует вязкость. Этот гелий представляет собой жидкий гелий-II в том состоянии, в каком он был бы весь при абсолютном нуле. Но при всякой другой температуре одновременно с этим состоянием существует как бы смешанный с ним гелий и в нормальном состоянии. По мере понижения температуры концентрация гелия в нормальном состоянии падает и, наоборот, сверхтекучее состояние гелия начинает преобладать. Только при абсолютном нуле весь гелий согласно теории должен перейти в сверхтекучее состояние. Эта картина достаточна для описания наблюдаемых нами явлений. Например, явление, наблюдаемое в опыте с перетеканием гелия из колбочки, изображённой на рис. 1, объясняется следующим образом. Поскольку гелий в сверхтекучем состоянии не испытывает трения ни о стенки, ни о гелий, находящийся в нормальном состоянии, поток, текущий по капилляру,

не создаёт реакции трения и может как бы незаметно наполнять сосуды. Наоборот, гелий в нормальном состоянии течёт из сосуда с трением, и поток его является обычным потоком жидкости, давно изученным гидродинамикой. Этот нормальный поток и улавливается крылышком, поставленным перед горлышком трубочки на рис. 1, в то время как идущий ему навстречу поток гелия в сверхтекучем состоянии обычными методами не удаётся обнаружить.

На основании этой же картины можно объяснить и большую теплопроводность гелия-II. Как видно, в сосуд попадает гелий в состоянии нулевой энтропии, а возвращается гелий в нормальном состоянии. Чтобы превратить гелий из одного состояния в другое, нужно затратить заметное количество тепла. Такой процесс своеобразной конвекции и создаёт впечатление большой теплопроводности гелия-II.

Все эти явления, для объяснения которых требуется представить себе сложные взаимодействия между двумя различными состояниями одной с той же жидкости в одном и том же объёме, с трудом укладываются в наши привычные рамки даже физического мышления. Чтобы попытаться несколько облегчить хотя бы поверхностное восприятие этой сложной картины механизма теплопроводности гелия-II, я позволю себе прибегнуть к аналогии с теми встречными потоками одетых и неодетых людей, которые циркулируют по проходу в раздевалке театра. Одетые — будут представлять собой нормальные атомы гелия, получившие около нагревателя («в раздевалке») нужную им энергию, а неодетые — это сверхтекучие атомы гелия. К сожалению, аналогия более чем неполная, так как атомы гелия в состоянии нулевой энтропии проходят мимо своих собратьев в нормальном состоянии без всякого взаимодействия, тогда как не получившие пальто никак не могут продвигаться через толпу без сильного трения.

На основании этой картины можно объяснить, почему при протекании гелия-II через узкое отверстие или щель появляется разность температур. Так как гелий в сверхтекучем состоянии протекает легче, без трения, через малое отверстие, чем гелий в состоянии нормальном, то получается как бы своеобразная фильтрация. После перетекания увеличивается концентрация сверхтекучего гелия, а это соответствует такой концентрации его, которая предполагает более низкую температуру.

Между теорией, развитой Л. Ландау, и экспериментом в основных вопросах существует не только качественное, но и количественное совпадение. Но существуют ещё и явления, которые не охватываются теорией. Выяснение их — дело будущего. Теория указывает на некоторые явления, — как наличие сосуществования двух скоростей звука, — которые ещё не удавалось наблюдать в жидком гелии. Теория не учитывает ещё критических скоростей, которые в действительности наблюдаются. Но мне кажется, что в основных своих пунктах теория очень близко подошла к существу объяснения этого изумительного явления и представляет исключительно ценный вклад в изучение этого явления. Работа над дальнейшим разъяснением этих явлений представляет большой интерес.

Теперь, когда мы опять в Москве благодаря замечательным успехам нашей Красной Армии и героизму её бойцов, мы можем продолжить нашу научную работу над жидким гелием, прерванную два с половиной года назад нашествием немецких варваров.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Л. Капица, Проблема жидкого гелия, доклад, сделанный на общем собрании Академии наук СССР 23 декабря 1940 г., Вестник Акад. наук СССР, № 2—3, 1941.
 2. W. H. Keesom and J. E. Keesom, *Physica*, **3**, 359, 1936.
 3. П. Л. Капица, ДАН СССР, **18**, 88, 1937; ЖЭТФ, **11**, вып. 1, 1941.
 4. L. W. Tisza, *Nature*, **141**, 913, 1938; *C. R.*, **207**, 1035, 1938.
 5. L. D. Landau, *Journ. Phys'cs USSR*, **5**, 71, 1941.
-