

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ПЁТР ЛЕОНИДОВИЧ КАПИЦА

(к шестидесятилетию со дня рождения)

Э. В. Шпольский

9 июля текущего года исполнилось 60 лет со дня рождения выдающегося советского физика академика Петра Леонидовича Капицы. П. Л. Капица родился в 1894 г. в Кронштадте в семье военного инженера. Его отец был одним из строителей кронштадтской крепости, а его мать, Ольга Иеронимовна Капица, была известным педагогом и собирателем фольклора. Среднее образование П. Л. получил в Кронштадтском реальном училище, высшее — на электромеханическом факультете Петроградского Политехнического института. Благодаря своим выдающимся способностям он ещё в студенческие годы обратил на себя внимание А. Ф. Иоффе — в то время профессора Политехнического института, — который и привлёк его к научно-исследовательской работе. Он принадлежал, таким образом, к той небольшой группе первых учеников А. Ф. Иоффе, которые образовали ядро созданного в 1918 г. Ленинградского физико-технического института (в то время основанного как физико-технический отдел Государственного рентгенологического института).

В 1921 г. П. Л. был отправлен в заграничную научную командировку в Кэвендишскую лабораторию Резерфорда. Здесь, будучи ещё совсем молодым физиком, он выполнил ряд замечательных работ. Эти работы, впоследствии продолженные и расширенные в Советском Союзе, создали ему мировую славу, как одному из самых выдающихся физиков наших дней. Нельзя не отметить при этом, что, проработав в течение нескольких лет рядом с учёным такого масштаба, как Резерфорд, оказавшим огромное влияние на развитие науки и прежде всего, конечно, на деятельность своих сотрудников и учеников, молодой советский учёный Петр Леонидович Капица практически с самого начала пошёл своим собственным путём, совершенно самобытным и независимым от идей и методов школы Резерфорда.

В этой краткой статье нет возможности дать полный обзор работ П. Л. и всей его разносторонней деятельности учёного, инженера и организатора. Ограничимся поэтому лишь краткой характеристикой этой плодотворной деятельности.

Уже в первых опубликованных работах П. Л. проявились характерные черты его таланта: смелость постановки эксперимента, прямо бьющего в цель, замечательное остроумие в преодолении огромных затруднений, обычно стоящих на пути исследователя при такой постановке эксперимента, и наряду с этим точный расчёт всех деталей, обеспечивающий достижение поставленной цели. Будучи и по образованию и по склонностям не только физиком, но и инженером, П. Л. умеет дать своим блестящим физическим идеям столь же блестящее техническое оформление. При этом свои работы он всегда ставит в большом техническом масштабе, далеко превосходящем обычный для физиков лабораторный масштаб.

В дальнейшем мы на нескольких примерах постараемся дать конкретные иллюстрации этой общей характеристики.

Заинтересовавшись в начале своей научной деятельности поведением вещества в очень сильных магнитных полях, П. Л. решил прежде всего осуществить на опыте магнитные поля порядка сотен тысяч эрстед. Как ни странно на первый взгляд, препятствием на пути к получению таких полей является сердечник электромагнита, насыщение которого ставит предел получению сильных полей, во всяком случае, в достаточном для экспериментирования объёме. Имея это в виду, П. Л. решает задачу радикально: он выбрасывает сердечник, — ведь в принципе возможности генерирования магнитного поля с помощью соленоида без сердечника не ограничены, нужно только пустить в соленоид ток достаточной силы. Однако расчёт показывает, что для получения полей порядка 100 000 эрстед потребовались бы гигантские силы тока, которые не смог бы выдержать никакой соленоид. Из этого затруднения П. Л. находит простой выход, рассуждая следующим образом: для атомных процессов, которые именно его и интересуют, промежуток времени в 10^{-3} сек очень велик; магнитное поле, существующее в течение такого промежутка времени, с точки зрения «атомных часов» может считаться постоянным. П. Л. решает поэтому поставить эксперимент таким образом, чтобы получать сверхсильные магнитные поля в течение очень коротких промежутков времени. С этой целью он строит примитивную аккумуляторную батарею с малым внутренним сопротивлением, которая полностью разряжалась в течение нескольких тысячных секунды, давая ток до 10^4 а. Таким путём П. Л. вначале получает поля около 10^5 эрстед в объёме 2 см^3 , что уже было огромным шагом вперёд по сравнению с тем, что можно было осуществлять с помощью электромагнитов. Впоследствии он строит

особый генератор, работающий на коротком замыкании и получает поля до 500 000 эрстед.

В ходе этих работ П. Л. с удивительным блеском и остроумием преодолевает огромные трудности — от расчёта и построения мощного генератора, в котором должны были быть гипертрофированы те свойства, которых всячески стараются избежать при обычном конструировании электрических машин, и до осуществления соленоида, витки которого должны выдерживать механические напряжения на разрыв, достигающие 1 т на 1 см^2 . Ему пришлось, кроме того, разработать совершенно новую методику изучения интересовавших его процессов в сильных магнитных полях. Условия, которым должна была удовлетворять эта методика, в высшей степени необычны. Поскольку поля устанавливались на тысячную долю секунды, все результаты воздействия этих полей на вещество должны были записываться автоматически. Эта запись производилась малоинерционными, весьма деликатными приборами, которые, однако, должны были давать правильные показания, в условиях, когда мощная упругая волна, распространяющаяся в земле в момент замыкания тока в соленоиде, несмотря на тщательную амортизацию машины сотрясала всё здание института.

Не менее яркие примеры таланта П. Л. как физика-экспериментатора и инженера дают его работы в области низких температур. В связи со своими работами по изучению свойств вещества в сильных магнитных полях П. Л. заинтересовался сначала получением предельно низких температур — водородных и гелиевых. Здесь он сразу обнаружил, что имеющиеся значительные технические трудности преодолеваются далеко не совершенным образом в существовавших в то время установках. Так, например, оказалось, что для получения жидкого водорода пользуются методом, применённым Дьюаром ещё в 1898 г. Принципиальным затруднением этого метода является необходимость использования чистейшего водорода. Даже наилучший, получаемый технически водород — чистый на 99,5% — не пригоден для ожижения в применявшихся машинах: загрязнения (например, воздух) при температуре жидкого водорода затвердевают и блокируют узкие трубки регенератора.

Это затруднение П. Л. преодолел с поразительной лёгкостью. В его водородном ожижителе две цепи: в одной — водород ожижается обычным способом с использованием «химически чистого» водорода. Но эта цепь раз навсегда полностью замкнута, и водород из неё никуда не уходит. В другой цепи циркулирует обычный технический водород; этот водород охлаждается предварительно жидким азотом и поступает в «обменник», где он дальше охлаждается до сжижения водородом первой цепи. Так как затвердевающие загрязнения тяжелее жидкого водорода, то они опускаются на дно обменника и не мешают циркуляции водорода во второй цепи.

Ещё смелее и остроумнее преодолены трудности в гелиевом ожижителе, построенном П. Л. вслед за водородным. Чтобы оценить идею этого ожижителя, следует вспомнить, что принципиально существуют два метода охлаждения и ожижения газов. В первом — газ охлаждается за счёт совершения внешней работы при адиабатическом расширении. Во втором охлаждение обусловлено совершением внутренней работы, т. е. эффектом Джауль — Томсона. В лейденской криогенной лаборатории Камерлинг-Оннеса, где впервые гелий был обращён в жидкое состояние и которая до работ П. Л. практически монополизировала область низких температур, ожижение гелия достигалось вторым методом. Эффективность этого метода, однако, ничтожно мала: расчёт показывает, что даваемый им выход составляет примерно 1% выхода, который должен бы давать метод адиабатического расширения. Если, тем не менее, последний метод до работ П. Л. не использовался для непрерывного ожижения гелия, то причина этого была связана с серьёзным техническим затруднением, стоявшим на пути его использования. Затруднение это состоит в конструировании расширительной машины (т. е. той части установки, где газ охлаждается путём совершения внешней работы), которая работала бы при крайних степенях холода. В этой машине имеется цилиндр с поршнем, и серьёзная трудность состоит в отыскании подходящего смазочного вещества, которое, с одной стороны, позволило бы поршню плотно прилегать к стенкам цилиндра и тем самым препятствовать утечке газа, а с другой — сохраняло бы свои смазывающие свойства при очень низких температурах. Французский инженер Ж. Клод, который построил на принципе адиабатического расширения установку для получения жидкого воздуха, обошёл это затруднение тем, что использовал для смазки сам жидкий воздух. Этот метод, однако, не пригоден для гелиевой машины, так как при температуре жидкого гелия любое вещество будет находиться в твёрдом состоянии. Попытка же использовать для смазки сам жидкий гелий (по аналогии с методом Клода) заранее обречена на неуспех, так как вследствие крайне малой величины поверхностного натяжения жидкий гелий вообще не обладает смазывающими свойствами. П. Л. преодолел это затруднение столь же смело и радикально, как и затруднения, связанные со свойствами сердечника при получении сильных магнитных полей: если нельзя найти подходящее для работы при крайне низких температурах смазочное вещество, то надо просто исключить потребность в смазке. Этого можно достигнуть, оставляя зазор между поршнем и цилиндром, так, чтобы поршень ходил свободно, не прикасаясь к стенкам цилиндра. Однако ведь газ при этом должен уходить из-под поршня! Но П. Л. преодолевает возникающее затруднение, заставляя газ расширяться очень быстро. Расчёт показывает в таком случае, что если ход поршня

завершается в малую долю секунды, то утечка газа настолько мала, что она не оказывает заметного влияния на производительность машины. Машина, в которой смазка не требуется, очевидно, должна успешно работать при любой температуре. Само собой разумеется, что на пути реального осуществления подобной машины возникло множество частных затруднений, которые, однако, П. Л. успешно преодолел, и построенный им гелиевый ожижитель является рекордным по простоте и производительности. Он не требует предварительного охлаждения жидким водородом (достаточно только жидкого азота) и запускается в течение одного часа, тогда как в лейденской лаборатории подготовка к пуску гелиевого ожижителя требовала нескольких дней. Влияние этой работы на развитие техники получения низких температур было огромно. Достаточно напомнить, что в начале тридцатых годов, когда П. Л. приступил к работе в этой области, на всём земном шаре было только два места, где получали жидкий гелий: это — знаменитая лейденская лаборатория Камерлинг-Оннеса и лаборатория Мак-Леннана в Торонто (Канада). Но уже в 1938 г. в Москве жидкий гелий использовался в студенческом практикуме.

Успешная разработка методов получения крайне низких температур, имеющих огромное значение для чисто физических исследований, побудила П. Л. обратиться к усовершенствованию промышленных методов использования низких температур и, в частности, к разработке эффективных методов получения больших количеств жидкого кислорода, имеющего в настоящее время столь важные применения в металлургии и в других областях техники. Наиболее важным результатом этой работы было создание высоко-эффективного турбодетандера.

Уже в своей работе о гелиевом ожижителе (1934 г.) П. Л. отметил, что наиболее привлекательным методом адиабатического извлечения тепла из сжатого газа является использование турбины для совершения внешней работы. Однако детальное обсуждение вопроса и соответствующие расчёты привели его к заключению, что метод турбины в случае гелия «непрактичен, если только не потребовалось бы получать жидкий гелий в большом масштабе». Но как раз последнее условие имеет место в случае жидкого воздуха. Поэтому, поставив себе в дальнейшем задачу разработки высоко эффективных методов получения жидкого воздуха главным образом с целью последующего разделения на кислород и азот, П. Л. решил использовать для охлаждения метод турбины. Хотя возможность использования турбины с этой целью была указана уже в 1898 г. Рэлеем, однако практического применения эта идея до работы П. Л. не получила. Причина этого состояла в том, что применявшиеся с целью охлаждения турбины обладали крайне низким коэффициентом полезного действия. Детально

проанализировав условия работы турбины, приводимой в движение сжатым воздухом при температуре около 100°K , П. Л. показал, что к. п. д. может быть значительно повышен, если использовать центробежные силы. Построив турбину, по ротору которой воздух движется в радиальном направлении от периферии к центру, П. Л. добился рекордного к. п. д. в 83%. Эта экспериментальная турбина представляла собою в некоторых отношениях чудо техники. Она имела диаметр 8 см, весила всего 250 г и работала при 40 000 оборотов в минуту. Для сравнения П. Л. в своей работе указывает, что компрессор, подающий воздух в эту турбину (от 500 до 1000 м^3 в час), весит 3 т и потребляет 50—80 квт. Само собой разумеется, что осуществление устойчивости вращения турбины при указанных сверхвысоких скоростях представляло собой серьёзную проблему, которая и была решена теоретически и экспериментально в специально поставленном исследовании. На основе этой турбины П. Л. разработал и построил экспериментальную установку для получения жидкого воздуха. В его машине воздух предварительно сжимается всего до 4—5 атмосфер, в то время как в известных установках Линде, где охлаждение достигается за счёт эффекта Джауль — Томсона, начальное сжатие равно 200 атмосферам. Тем самым в технику получения низких температур был введён новый принцип — принцип машин низкого давления. Эффективность этих машин, подтверждённая практикой их промышленного применения, — чрезвычайно высока. В настоящее время техника получения больших количеств кислорода во всём мире пошла именно по пути использования машин низкого давления, указанному П. Л. Капицей.

Уделяя столь серьёзное внимание работам в области технической физики, П. Л. всегда оставался физиком. Это значит, что разрабатывавшиеся им мощные экспериментальные методы были для него в основном либо средством изучения физических явлений, либо — как в случае разработки методов получения кислорода — вкладом его, как физика, в великое дело индустриального развития нашей страны. Во всяком случае, разработка новых экспериментальных методов в работах П. Л. всегда немедленно сопровождалась применением этих методов к решению физических проблем и всегда приносила важные результаты. Так, осуществив метод получения сверхсильных магнитных полей, он выполняет ряд важных работ по изучению электрических свойств металлов, помещённых в такие поля, и открывает при этом линейный закон зависимости сопротивления от напряжённости поля вместо ранее установленного квадратичного закона для обычных полей; он изучает эффект Зеемана в сверхсильных магнитных полях и выполняет ряд других работ. Но, пожалуй, наиболее широкий интерес представляют его работы, посвящённые изучению свойств жидкого гелия. Как известно, при температурах ниже $2,19^{\circ}\text{K}$ гелий переходит

в состояние, называемое гелием II и характеризующееся многими замечательными свойствами. Одним из самых поразительных свойств гелия II является его необычайно высокая теплопроводность, открытая Кезомом. Из измерений Кезома и его дочери следовало, что теплопроводность гелия II примерно в миллион раз больше теплопроводности меди. По аналогии со сверхпроводимостью Кезом приписал поэтому гелию II свойство, которое он назвал сверхтеплопроводностью. Но наличие сверхтеплопроводности влекло бы за собой необходимость высокой вязкости. Между тем опыты, выполненные в Канаде, показали, что, как раз наоборот, жидкий гелий II обладает очень малой вязкостью. Это противоречие П. Л. разрешил весьма радикально, утверждая, что теплопроводность, наблюдаемая Кезомом, является кажущейся и что быстрый перенос тепла в данном случае обусловлен не теплопроводностью, но конвекцией, так что гелий II является жидкостью не сверхтеплопроводящей, но обладающей ничтожной вязкостью. Это утверждение было затем оправдано длинным рядом превосходных экспериментов, замечательных по своей наглядности и красоте. Тем самым было открыто совершенно новое явление, которое было названо сверхтекучестью. Это явление затем подверглось детальному экспериментальному исследованию самим П. Л. и рядом его сотрудников в институте физических проблем Академии наук СССР, а Л. Д. Ландау в том же институте построил его полную теорию. При этом, как следствие теории, было предсказано существование ещё одного нового явления, названного вторым звуком, а эксперименты В. П. Пешкова подтвердили реальность этого явления. В итоге необходимо отметить, что работы П. Л. и его сотрудников в области низких температур представляют собой одну из самых блестящих страниц в истории советской физики.

Характерной чертой таланта П. Л. как физика является его замечательная разносторонность. Он блестящий экспериментатор и при этом свои труднейшие эксперименты он выполняет сам, своими собственными руками. Однако П. Л. не только экспериментатор, но и теоретик. При этом дело не ограничивается тем, что он не нуждается в помощи математика для выполнения необходимых расчётов, предшествующих постановке эксперимента, но и выполняет исследования, которые должны быть отнесены к области теоретической физики. В этом отношении характерна серия его недавних работ в области, неожиданной для круга предыдущих интересов П. Л., именно в области гидродинамики. Мы имеем в виду исследования, посвящённые волновому течению тонких слоёв вязкой жидкости. В этих работах задача об устойчивом режиме течения тонкого слоя жидкости сначала была решена теоретически, а затем волновое течение было подвергнуто детальному количественному изучению экспериментально.

К числу «неожиданных» работ П. Л. относится чисто математическое сообщение, в котором выведены ранее никем не замеченные выражения для суммы степеней корней бесселевых функций. Сюда же относится буквально мимоходом сделанная работа о качаниях маятника на вибрирующем подвесе. Математически задача эта решалась необыкновенно громоздким методом с помощью уравнения Матье, решаемого бесконечными детерминантами, а экспериментальных работ вообще известно не было. Заинтересовавшись этой задачей, П. Л. начал с того, что заново формулировал её математически, пришёл при этом к уравнению, более общему, нежели уравнение Матье, и дал элементарно простое решение полученного уравнения, хотя и приближённое, но дающее результаты с точностью, вполне достаточной для практических целей. Далее был проделан ряд простых опытов, наглядно продемонстрировавших парадоксальные свойства динамической устойчивости этой системы, — по справедливому замечанию П. Л. не менее интересных, нежели обычно демонстрируемые свойства динамической устойчивости гироскопов.

Уделяя свои силы и внимание главным образом исследовательской работе в лаборатории, в институте, П. Л., однако, вовсе не принадлежит к числу так называемых «кабинетных учёных». Он живо откликается на вопросы практики, на нужды социалистического строительства. Лучшим доказательством этого является его работа в области низких температур. Здесь его деятельность далеко не ограничилась разработкой высоко производительных методов получения жидкого воздуха и дальнейшего получения кислорода. Но, создав экономически выгодные методы получения кислорода, он затратил много сил на внедрение в промышленность полученных результатов, т. е. на изыскание разнообразных применений кислорода в промышленности.

Заслуги П. Л. перед советской наукой и техникой высоко оценены правительством. Он награждён тремя орденами Ленина, орденом Красного Знамени, а с 1945 года он Герой Социалистического Труда. Сталинская премия присуждалась ему дважды.

С 1939 г. П. Л. — действительный член Академии наук СССР. Около 20 академий и ученых обществ мира, в том числе Королевское общество Великобритании, Академия наук Дании, Национальная академия США, Индийская академия и ряд других избрали его своим действительным или почётным членом. В 1942 г. ему присуждена медаль имени Фарадея, в 1945 г. — медаль имени Франклина.

Достигнув 60 лет, Пётр Леонидович находится в расцвете своих сил. Он с увлечением продолжает свои научные работы и полон творческих замыслов. Нам остаётся пожелать ему ещё на многие годы бодрости и здоровья для продолжения его многосторонней деятельности, направленной прежде всего на благо нашей Родины.
