

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ПЬЕР КЮРИ \*)

*A. Ф. Иоффе*

Пьер Кюри родился почти 100 лет тому назад — в 1859 г. и прожил всего 47 лет. В 1906 г., едва получив благоприятные условия для научной работы, он погиб, попав под ломовую телегу. Несмотря на короткий срок научной деятельности, большую педагогическую нагрузку и отсутствие приспособленной для научных изысканий лаборатории, Кюри оставил большое научное наследство непреходящего значения. Его труды изданы в виде одного тома в 600 страниц. Но сколько здесь классических результатов, навсегда вошедших в физическую науку и не только в физическую. Если пользоваться нынешней классификацией наук, то можно сказать, что работы Кюри обогатили и кристаллографию, и физику, и ядерную физику, и медицину, и геологию. Замечателен также вклад Кюри в развитие методики точного знания, в теорию и практику измерительных приборов.

При всей широте своих интересов Кюри был прежде всего физиком-новатором. Не случайно, а под влиянием непреодолимого стремления искать новое и даже неожиданное, Кюри делал свои открытия. Он непрерывно спрашивал природу: так ли обстоит дело, как мы привыкли думать, что происходит в действительности, и не испытывал разочарования, если опыт подтверждал лишь уже известное. Пьер Кюри стремился понять общие закономерности явлений природы, а не увеличивать число своих научных трудов — многое так и не увидело света. Удивительна была его интуиция, опередившая взгляды современников. Приведу три примера:

1. Жак Кюри, брат Пьера, видимо, при ближайшем участии последнего опубликовал в 1888 г. свою докторскую диссертацию об электрических свойствах изолирующих кристаллов. Тогда, да и долгое время спустя принято было считать, что затухающие во времени

\*) Доклад прочитанный 19 апреля 1956 г. на торжественном заседании Академии наук СССР, Советского Комитета защиты мира, Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Всесоюзного общества культурной связи с заграницей, посвящённом пятидесятилетию со дня смерти Пьера Кюри.

токи в этих кристаллах — результат медленно устанавливающейся диэлектрической поляризации. Пьер Кюри, выступив на заседании физического общества, дал совершенно иное толкование, по которому токи создавались движением ионов, а затухание тока вызывалось накоплением объёмных зарядов. Он правильно оценил решающую роль примесей и величину возникающей поляризации. Спустя 15 лет взгляды Кюри были подтверждены прямыми опытами, произведенными мною вместе с Рентгеном.

2. Открытие радиоактивности рассматривалось всем учёным миром как важный шаг вперёд и познания мира, и как новое лечебное средство. Далеко ещё было до атомной бомбы. А Пьер Кюри в своей Нобелевской речи 1903 года уже сказал: «Нетрудно предвидеть, что в преступных руках радий может сделаться крайне опасным... но всё же новые открытия в конечном счёте приносят человечеству больше пользы, чем вреда».

3. В конце XIX века считалось хорошим тоном среди многих учёных говорить об атомном строении вещества лишь как об удобной рабочей гипотезе, отвергая её как отражение реального мира. Как хорошо известно, только открытия, сделанные на рубеже нашего столетия и в первые его годы (брауново молекулярное движение, электроны, радиоактивность и открытие дифракции рентгеновых лучей), сделали атомы реальностью в сознании физиков. Кюри же был убеждённым сторонником атомного строения вещества и пытался доказать его анализом симметрии кристаллов, которую он связывал с атомной их структурой.

Если попытаться охарактеризовать Кюри как физика, то придётся отметить наряду с новаторством, глубоким анализом основ науки и наблюдательностью также исключительно строгую требовательность к выводам из своих опытов и связанное с этим внимание к методике эксперимента.

Всё это, разумеется, лишь методы научной работы; успех её обязан громадному таланту и интуиции, которыми Пьер Кюри обладал, как немногие учёные, чьи имена сохранила история.

Лучшей характеристикой учёного служат его труды. Вспомним же, чем обязана Пьеру Кюри современная физика. Первая работа 20-летнего юноши Кюри была посвящена инфракрасным лучам (или тепловым волнам, как их тогда называли). Устроив дифракционную решётку из тонких проволок с периодом в  $1/4$  мм, Кюри определял с её помощью длины волн, распределение же интенсивности по спектру давала призма из каменной соли, позволявшая измерять самые слабые линии, недоступные дифракционной решётке.

Вопросы спектроскопии, видимо, мало интересовали молодого Кюри. Его мысли занимала проблема симметрии в строении вещества, с одной стороны, и свойства симметрии физических явлений, с другой.

Ещё в том же 1880 г. он вместе с братом — кристаллографом сообщает об открытии ими пьезоэлектричества, которое он рассма-

тряивает как обобщение и дальнейшее развитие известных уже пироэлектрических свойств турмалина. Оба явления вызваны изменением размеров кристалла. Сжимается ли турмалин под влиянием внешнего давления или охлаждения, на его гранях появляются заряды того же знака; нагрев и растяжение вызывают противоположные заряды. Через 2 недели братья Кюри докладывают Академии свои исследования пьезоэлектрических свойств большой серии кристаллов, среди которых мы находим наряду с турмалином и кварц, и сегнетовую соль. Ещё через полгода формулируются количественные законы пьезоэлектричества и обсуждаются выводы, вытекающие из свойств симметрии пьезоэлектрических кристаллов для вопроса об атомной или сплошной теории вещества.

Пьер Кюри не раз ещё возвращается к этому вопросу: в свойствах симметрии кристаллической среды он видит проявление её молекулярного строения и пытается придать этой связи характер убедительного доказательства. Пока ему это не удалось, он рассматривает каждое явление с точки зрения как атомного, так и непрерывного выполнения пространства и объективно противопоставляет друг другу выводы из обоих представлений.

Проходит ещё год, и братья Кюри сообщают об открытии ими обратного пьезоэлектричеству явления — электрической деформации пьезоэлектрических кристаллов. Необходимость такого явления предвидел Липпман. Как и предполагалось, деформация подчиняется правилу Ленца: вызываемый ею вторичный эффект электризации противоположен по знаку вызвавшей её причине. На протяжении ближайшего года устанавливаются количественные законы нового явления и их связь с количественными характеристиками пьезоэлектрических свойств тех же кристаллов, измеряются пьезоэлектрические константы ряда кристаллов.

Позже, в 1889 г., братья Кюри публикуют полученные ими ещё в 1881 г. данные и детальное описание опытов. Здесь излагается целая серия новых методов, с помощью которых Пьеру Кюри удалось с большой точностью измерить ничтожные по величине деформации кварца. Описываются основанные на пьезоэлектричестве приборы. Особенно интересен измеритель электрического заряда: две склеенные кварцевые пластинки с противоположными направлениями их электрических осей. Изгиб их при электризации отклоняет связанный с ними стрелку, снабжённую микрометренной шкалой.

В связи с излучением электризации Кюри разрабатывает и описывает усовершенствованный квадрантный электрометр, абсолютный конденсатор и ряд других приборов; описание их он даже не счёл нужным опубликовать, оно было обнаружено после его смерти в его бумагах.

Нельзя здесь не упомянуть о созданной Пьером Кюри теории колебания весов и о новом виде апериодических прецизионных весов, им разработанном.

Большое значение ещё много лет после смерти Пьера Кюри имел его прибор для измерения количества электричества с помощью пьезоэлектрического кварца. Это тонкая пластинка, вырезанная перпендикулярно к электрической оси и подвешенная вдоль главной оси кристалла. После того, как пьезоэлектрическая постоянная кварца была измерена с большой точностью, можно было с такой же точностью измерять выделяющийся на поверхностях кварца заряд по величине навески на чашке, подвешенной к кварцевой пластинке.

Этим прибором пользовались в лаборатории мадам Кюри ещё в 30-х годах, когда я там бывал. И, надо сказать, для измерения количества электричества это великолепный прибор — простой и точный.

С пьезокварцем Кюри у меня связано воспоминание о моей первой научной работе. Мне было предложено выяснить: что является причиной упругого последействия — деформация или напряжение, вызывающее деформацию. Разделить их, казалось, можно было с помощью пьезокварца. Напряжение, определяемое подвешенным грузом, остаётся неизменным; если деформация будет продолжать расти, она создаст дополнительный заряд на электродах. При проведении опыта выяснилось наличие систематических ошибок, исказжающих результат; пришлось перейти к наблюдению упругого последействия при изгибе пластинки Кюри. Но и здесь последействие оказалось результатом появления пьезоэлектрических зарядов, заполняющих в этом случае весь объём кристалла. Чтобы устранить возможность появления зарядов при изгибе, следовало вырезать пластинку в другом кристаллографическом направлении.

Об этом я написал Пьеру Кюри и просил его, если он признает мои соображения правильными, передать мастерской заказ на такую пластинку.

Вскоре я получил ответ, подтверждающий мои предположения, а вслед за этим и пластинку, которая действительно показала отсутствие истинного упругого последействия в кварце.

Другое воспоминание, связанное с Пьером Кюри, относится к самому началу моей работы у Рентгена. Это было в марте 1903 г. Рентген вызвал меня и сказал, что появилась статья Кюри, в которой тот сообщает, что он обнаружил большие количества тепла, непрерывно выделяемые радием. «Я бы не поверил этому, — сказал Рентген, — ведь так много появляется сенсационных сообщений, которые не оправдываются, но это Пьер Кюри, один из лучших экспериментаторов нашего времени и человек осторожный. Результат слишком важный и необычный — необходимо проверить. Вот ампула, содержащая 63 миллиграммма хлористого радия — посмотрите, сколько она выделяет тепла».

Спустя короткое время мне было предложено доложить на семинаре статью Резерфорда, который, исходя из обнаруженного Кюри выделения тепла, высказал мысль о распаде атомов и их превращениях — так родилась идея об атомной энергии.

Впечатление, которое произвела заметка Кюри, было исключительно велико. В некрологе, напечатанном в «Nature» после смерти Кюри, вспоминается предсказание, что будущее человечество примет за начало своей эры открытие в марте 1903 г. Пьером Кюри теплоты, выделяемой радием.

Однако вернёмся к научной жизни Кюри в 80-е годы — годы открытия пьезоэлектричества. Он не успел ещё опубликовать полностью своих исследований, как появилась обобщающая работа Фогта, посвящённая пьезоэлектричеству, и монография Кюри не была написана. Позднее в курсе лекций Кюри хотел восполнить этот пробел и приступил к изложению вопроса о пьезоэлектричестве, но смерть не дала закончить этого близкого ему дела.

Для Пьера Кюри законы пьезоэлектричества тесно переплетались с основной для него проблемой симметрии. Он обобщил и дополнил учение об элементах симметрии и сформулировал общее положение, что как наличие симметрии, так и отсутствие её в любом явлении могут быть вызваны только такими же свойствами симметрии в причинах, вызывающих это явление. Глубокий анализ он посвятил вопросу о взаимосвязи элементов симметрии среды, в которой протекает явление, и свойствами симметрии самого явления. В частности, Кюри подробно разобрал вопрос о симметрии электрического и магнитного полей. В кристаллах он видел не только их ограничение, но прежде всего анизотропную среду, обязанную этим соответственному расположению образующих её молекул.

Впрочем, и проблеме внешней формы кристалла Кюри посвятил немало времени и труда. Он тщательно изучал рост и растворение отдельных граней и открыл закон, связывающий скорость роста грани с величиной её поверхностной энергии, с густотой расположения в ней молекул.

Знакомясь с этим циклом работ Кюри, видишь в нём кристаллографа, владеющего всем богатством накопленного опыта и творчески его развивающего. Кристаллографические законы Кюри представляются столь же фундаментальными, как его законы в области пьезоэлектричества.

Но ещё больше поражает его труд, посвящённый магнетизму. Каждый следующий шаг Кюри был крупнее предыдущего и подымал его как учёного на большую высоту. Так было и дальше, когда он принял участие в исследованиях по радиоактивности.

Работа Кюри по магнетизму сделалась его докторской диссертацией; она была напечатана в 1895 г. Исследовав 20 различных материалов — диамагнитных, парамагнитных и ферромагнитных в широком интервале температур до  $1400^{\circ}\text{C}$ , Кюри дал исчерпывающее описание их свойств. Он установил закон Кюри для парамагнитных веществ, согласно которому парамагнитная восприимчивость обратно пропорциональна абсолютной температуре. Он показал независимость от температуры и от напряжения магнитного поля диамагнитной

восприимчивости. Позднее его ученик Ланжевен создал теорию, объяснившую результаты Кюри. Исследование ферромагнитных материалов привело Пьера Кюри к установлению температуры Кюри, когда ферромагнитные свойства переходят в парамагнитные. Точка Кюри сделалась с тех пор понятием, далеко выходящим за рамки магнетизма.

Кюри правильно заключил из своих опытов, что физическая природа диамагнетизма и парамагнетизма совершенно различны, тогда как природа парамагнетизма близка ферромагнетизму. Причину этого выяснил позже Ланжевен.

Трудно передать в краткой статье хотя бы важнейшие результаты магнитных исследований Кюри, своеобразие каждого из исследованных им материалов, влияние на них давления, температуры, изменения агрегатного состояния. Простое перечисление веществ, для каждого из которых было проведено тщательное исследование влияния температуры, поля, давления, агрегатного состояния, обработки, показывает масштабы и тщательность выполненной Кюри работы.

Из диамагнитных материалов были изучены: вода, ряд солей, кварц, сера, селен и теллур, бром, иод, ртуть, фосфор, сурьма, висмут. Кюри устанавливает отличие твёрдого висмута от всех других тел по отношению к влиянию температуры. Из числа парамагнитных веществ Кюри изучил кислород, воздух, магнитные соли, их растворы, палладий, стекло и фарфор, ферромагнетики выше точки Кюри. Всесторонне в широком интервале магнитных полей и температур изучены ферромагнетики и выяснены имеющие здесь место количественные закономерности. Убывание магнитной индукции ферромагнетика с приближением к точке Кюри он рассматривает как преддверие убывания парамагнетизма выше этой точки. Переход парамагнитного состояния в ферромагнитное напоминал ему процесс конденсации. Недаром он одновременно проанализировал уравнение Ван-дер-Ваальса и закон соответственных состояний, в которых нашёл много общих черт с закономерностями, обнаруженными им в магнитных явлениях. Кюри устанавливает сходство между кривыми изменениями плотности пара и магнитной индукции с температурой. На 100 страницах работы по магнетизму Кюри сумел изложить такое богатство фактов и выводов из них, для которого у иного исследователя потребовался бы толстый том.

Разумеется и здесь не обошлось без разработки новой методики и новых приборов, обеспечивших большую точность, которую сам Кюри оценил в 1—2%, что при крайней малости измеряемых воздействий являлось выдающимся успехом.

Идеи симметрии Кюри распространил и на явления магнетизма; Не ограничиваясь своими наблюдениями, он спрашивал себя—возможно ли существование свободного магнетизма и каковы были бы его свойства симметрии? На этот вопрос ему пришлось дать отрицательный ответ.

Руководствуясь, видимо, такими же соображениями симметрии, Кюри настойчиво искал аналога ферромагнетизму среди диамагнетиков; он его не нашёл. Но не привела ли открытая спустя 5 лет после смерти Кюри сверхпроводимость к сверхдиамагнетизму, о котором он мечтал, к полному вытеснению магнитного поля? Можно пожалеть, что в то время неизвестно было явление антиферромагнетизма; оно дополнило бы ту картину магнитных свойств, которую обрисовал Кюри. Антиферромагнетизм, пожалуй, единственный существенно новый факт, внесённый наукой в исследование магнетизма за 60 лет, прошедших с опубликования труда Кюри.

Последний период деятельности Пьера Кюри после 1895 г., когда он женился на Марии Склодовской и вместе с нею приступил к исследованию радиоактивности, лучше известен. В их содружестве трудно выделить долю каждого в отдельности, так же, как в ранних работах в содружестве с братом Жаком. Несомненно, что соединению талантов Пьера и Марии Кюри человечество обязано открытием радия и полония, анализом радиоактивных излучений —  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей, которые они всегда называли лучами Беккереля. Пьер Кюри установил отклонение в магнитном поле и перенос заряда  $\beta$ -лучами, обнаружил и с исключительной тщательностью изучил явление наведённой активности, выделение эманации. Ему принадлежат основные результаты исследования вторичных лучей, создаваемых рентгеновыми лучами. Кюри обнаружил влияние радиоактивных лучей на электропроводность жидкостей. Он изучил химические и физиологические действия радия. Независимость скорости распада радиоактивных веществ от любых внешних условий наводит его на мысль использовать это явление для определения единицы времени.

Мы уже упоминали об открытии теплоты, выделяемой радием. В первой же краткой заметке Кюри правильно оценил количество тепла, выделяемого одним грамм-атомом радия, и вытекающие из этого факта выводы. Однако наряду с высказанный им в первой же заметке, даже годом ранее, гипотезой об освобождении внутриатомной энергии при превращении элементов он считал необходимым убедиться сначала, не поглощает ли радий энергии какого-то неведомого ещё вида из окружающего пространства, например, незамечаемой нами радиации. Как мы знаем, энергия, освобождаемая радием, — результат его распада на эманацию и ядро гелия —  $\alpha$ -частицу; но неведомый тогда источник энергии — космические лучи, как мы теперь знаем, все же существует и также вызывает внутриядерные превращения, хотя и иного порядка величины по сравнению с самопроизвольным распадом радия.

Чтобы правильно оценить Пьера Кюри, как одного из самых выдающихся физиков-экспериментаторов, необходимо учесть не только замечательные результаты в каждой области знания, которой он посвящал своё внимание, но и те условия, в которых протекала его научная деятельность. Без специально оборудованной лаборатории,

в уголке под лестницей, среди студенческого практикума, в сарае, с помощью самодельных приборов Кюри делал одно открытие за другим, проводил самые тонкие прецизионные исследования и создавал новые приборы.

Даже Нобелевская премия, полученная им вместе с женой Марией Кюри и Беккерелем, не внесла решающего перелома в условия работы. После преодоления многочисленных препятствий Кюри получил небольшую лабораторию и необходимые средства на её оборудование. Нелепая смерть оборвала его деятельность в период наибольшего её расцвета.

Дело Пьера Кюри продолжали его друзья и ученики. Под руководством Марии Кюри вырос и получил мировую известность Институт радия, где выполнено было свыше 500 исследований по радиоактивности. Его ученик Поль Ланжевен создал на основе результатов, полученных Пьером Кюри, и в полном согласии с ними теорию магнетизма, а открытие пьезоэлектричества использовал для получения и приёма ультразвука в море. Кристаллографические идеи Кюри также нашли продолжателей и в том числе русского учёного Юрия Викторовича Вульфа.

Из биографических данных о Пьере Кюри следует указать, что он получил домашнее образование и никогда не посещал школы. Отец его — врач со склонностью к научной деятельности, — видимо, рано понял своеобразие научных дарований своего сына и выбрал для него преподавателя, которого не раз вспоминал с благодарностью Кюри-учёный.

Сразу же после сдачи экзаменов за среднюю школу Пьер Кюри стал препаратором в лаборатории Дезена, где и выполнил свою первую научную работу. Ещё до этого он несколько лет помогал в лабораторной работе своему старшему брату Жаку, с которым его связывала трогательная дружба.

Вместе с минералогом Жаком Пьер проводил свои исследования в области кристаллографии, пьезоэлектричества и электрических свойств изолирующих кристаллов. В длительных беседах с Жаком у Пьера выработалось его научное миросозерцание, в котором симметрия заняла такое большое место, здесь вырос интерес к кристаллам и накопились глубокие знания их свойств.

Первая половина короткой по времени, но богатой содержанием научной деятельности Пьера Кюри была тесно связана с его братом и другом Жаком Кюри. Вторая половина, начиная с 1895 г., протекала в содружестве с его женой и другом Марией Кюри. Последней принадлежит лучшая биография Пьера Кюри, изданная дважды в СССР. Она же написала предисловие к собранию трудов Пьера Кюри, изданному в 1908 г. французским физическим обществом. Почти все исследования Пьера Кюри опубликованы совместно с тем или иным из его учеников или друзей.

Вспоминая блестящую научную деятельность Пьера Кюри, нельзя забыть о его личности, о его скромности, высокой принципиальности

и передовых убеждениях. Он решительно отклонял все виды наград и почестей, которые ему предлагали. С отвращением он говорил об обычae добиваться научных должностей путём посещения кандидатами влиятельных лиц. Нобелевскую премию он и жена его затратили на организацию лечения радием. Кюри не знал компромиссов, был правдив до конца не только в науке, но и в жизни.

В политических вопросах, по отношению к религии Пьер Кюри был одним из наиболее прогрессивных людей своего времени. Его демократические убеждения, полное отсутствие национального шовинизма, сочувствие угнетаемым народам и ненависть к угнетателям так же, как и его научные идеи, нашли дальнейшее развитие в лице его жены — одного из лучших друзей Советского Союза, и его ученика — Ланжевена, вступившего в Коммунистическую партию.

Его дочь Ирэн, недавно погибшая на посту беззаботного служения науке, была крупным учёным и видной общественной деятельницей Франции, активным борцом за мир между народами, а муж Ирэн, Фредерик Жолио-Кюри, вместе с ней положивший широкое начало исследованиям в области искусственной радиоактивности, широко известен как один из руководителей прогрессивного движения передового человечества за мир.

Пятьдесят лет прошло со дня смерти Пьера Кюри. Пройдут ещё столетия и память о Кюри — учёном, о Кюри — учителе не изгладится в истории науки. Основоположник учения о магнетизме, о радиоактивности, о ядерной энергетике, автор ведущих идей о симметрии в природе, открывший взаимосвязь деформаций и электризации кристаллов, Кюри останется яркой фигурой физики конца XIX и начала XX веков, если даже не исполнится предсказание, что началом новой эры человечество объявит работу Кюри 1903 г. В честь замечательных учёных — супружеского Кюри — одному из вновь открытых элементов периодической системы недавно присвоено название: Кюрий.

---