

АТОМНОЙ ФИЗИКЕ не так уж много лет, но история её создания и развития была бурной, противоречивой, в разных странах это происходило по совершенно разным сценариям. Первые атомные реакторы создавались для того, чтобы... Вот уже первая заминка — а для чего? Если говорить о физиках — то для того, чтобы подтвердить все теории и догадки, чтобы укротить атом (то есть превратить ценную ядерную реакцию распада ядер урана и плутония в контролируемый процесс), чтобы получить новые знания.

Если говорить о правительстве Штатов, о Пентагоне, то тут всё было утилитарно — им требовалось совершенное оружие, которое позволило бы США в самом буквальном смысле слова править планетой. Симметричный ответ со стороны нашей с вами огромной Родины, который она сумела дать в сроки, которые всем в Штатах казались немислмыми, не только остановил пыл безжалостных вояк и политиков. Они вынуждены были прислушаться к собственным учёным, доказывавшим, что энергия атомного ядра может и должна быть использована не для тотального разрушения, а для созидания. О Штатах говорить без ненависти лично для меня сложно, но я не могу не уважать вклад их учёных-атомщиков в развитие именно мирного направления атомной индустрии. Это ведь, по большому счёту, благодаря их усилиям политики США не только провозгласили с высокой трибуны программу "Атом во имя мира", но и стали её выполнять — в наше время ничего подобного и представить-то не получается. Три десятка исследовательских реакторов, поставленных в более чем 20 западных и не очень западных стран, придали развитию атомных технологий темп, на который в одиночку не могли рассчитывать две супердержавы тех лет.

Советский Союз ответил куда как менее симметрично — АЭС в дружественных странах строились, а вот технологии не передавались. Для этого был целый ряд причин, политических и экономических, но, глядя на то, как ведут себя страны Восточной Европы по отношению к России в наши дни, приходится признать — а решение-то было правильным. Атомные технологии не энергетического направления множатся и ширятся, с каждым годом их вклад в материаловедение, в медицину, в развитие сельского хозяйства становится всё более заметен. Для России именно атомная энергетика дала возможность, о которой мечтали многие поколения: Атомфлот по-настоящему открыл для нас Северный морской путь, атомные ледоколы сумели совершить то, что до середины века представлялось ненаучной фантастикой: надводные суда достигли Северного полюса, а в наше время по этому невероятному маршруту можно и вовсе отправиться в коротенькое туристическое турне.

Но атомный проект развивался не только в СССР и в США, и даже не только в тех странах, которые официально владеют ядерным оружием. В мировой атомный энергетический клуб сегодня входят 32 страны, причём слово "сегодня" в данном случае звучит совершенно конкретно. Если своевременно будут реализованы все производственные планы, уже в текущем году этот престижный клуб пополнят ещё две страны — Бангладеш и Турция.

На планете есть страны, развитию атомных технологий в которых оказывалась международная поддержка, помощь со стороны МАГАТЭ, но есть и те, в которых эти технологии развивались не благодаря, а вопреки. Национальные атомные проекты Индии, Пакистана, Ирана, КНДР — готовый материал для военно-технологических триллеров, повороты сюжетов в которых ни одному писателю даже в голову бы не пришли.

Надёжность, предсказуемость и безопасность, которая теперь приближается к слову "абсолютная", — те характеристики, которые сейчас признаны за атомными энергетическими реакторами. Но добраться до такого уровня было далеко не просто — реакторы разных технологий насчитывают уже четыре поколения, начиная с тех, которые создавались исключительно для военных целей, когда вопросы безопасности были далеко не главными.

В каких-то странах развитии атомных энергетических технологий занималось только и исключительно государство, в каких-то — крупные частные компании, есть страны, где оба подхода используются одновременно.

Реакторы уран-графитовые, охлаждавшиеся водой и углекислым газом, реакторы с металлическими теплоносителями, на быстрых нейтронах и на тепловых, реакторы с одним, двумя и даже тремя контурами, реакторы большой мощности, малой и средней, самое разное ядерное топливо — несмотря на то, что в каждом из них используются одни и те же физические законы. Этот "атомный зверинец" порой достаточно сложен, но он действительно интересен. Взлёт и падение атомной научной, конструкторской, инженерной школы Англии, собственные направления реакторных технологий в Швеции и Канаде, формирование большой атомной тройки в семидесятые годы прошлого века и её распад, собственные атомные технологии Ирана, внезапный взлёт атомной школы Южной Кореи, стремительный старт атомной программы Китая, крайне своеобразная атомная школа Индии.

Атом в космосе и на межпланетных маршрутах, глубоко под водой и над водой для обеспечения навигации в нашем Северном Ледовитом океане, атомная станция под ледяным панцирем Гренландии, целая программа атомных подземных взрывов в народнохозяйственных проектах Советского Союза. Конкуренция и сотрудничество, огромный пласт общих для всех проблем атомного бэкэнда — так называют всё, что связано с выводом из эксплуатации и демонтажем ядерных и радиационных объектов, с переработкой облучённого топлива, с обращением с радиоактивными отходами. Разведка и разработка урановых месторождений в разных странах, для которых технологии тоже не стоят на месте. Отдельная и весьма интересная тема — работа с ядерным наследием, такое вот название придумали со всеми рисками, связанными с применением атомных технологий в военном оборонительных целях. Огромное количество больших и малых историй, прорывов и тупиков, взлётов, падений и попыток снова выбраться на передовые позиции. Радиофобия, связанная с тремя крупнейшими авариями в истории мировой атомной энергетики, истеричные попытки отказаться от неё и мучительное осознание, что такие успешные решения ни к чему хорошему не привели, а потому теперь мучительно больно за бесцельно прожитые годы. Для того чтобы отказать от атомной энергетики не казалось совсем уж откровенной глупостью, европейские политики теперь прикрываются тем, что они, убогие, не сразу оценили, насколько иззябно вписывается атомная энергетика в зелёную повесточку. Оказывается, им 70 лет потребовалось на то, чтобы обнаружить, что в активной зоне ядерного реактора углекислый газ не образуется. Вроде бы все в эту версию и поверили, но её авторы понимают, что кривовато получилось, потому теперь поднимают на щит нечто свежее: оказывается, без атомной энергетики не способны качественно работать ЦОДы, а потому ради светлого цифрового будущего, окормлять которое будет искусственный интеллект, таки придётся строить АЭС. И, конечно, поверх всего этого — целый ворох политических, геополитических и экономических интриг всех против всех, которые придают атомной энергетике вообще и атомным технологиям в частности особый шарм. Не обходится и без неотъемлемых для частного капитала подмётных писем и прочих чёрных pistolетов с взаимными судебными исками по поводу кражи технологий и прочих авторских прав. Это

можно, пусть и с натяжкой, считать современным аналогом происходившего на заре атомной эры, когда вклад советской разведки имел весьма и весьма немалое значение для динамики работы Спецкомитета.

ИСТОРИЯ, эволюция наших, советских и российских атомных реакторов — это ведь практически отдельная славная история. От дедушки, прародителя, первенца Ф-1, физического первого, — к промышленным реакторам, от них к реакторам, для которых уран уже обогащался, к удивительной истории Сибирской АЭС, к первому энергетическому атомному реактору Первой АЭС, к реакторам АМБ (атомный, мирный, большой) и РБМК (реакторам большой мощности канальным), о том, как с суши в воду шагнули, а потом на сушу вернулись реакторы ВВЭР, от ВВЭР-200 к ВВЭР-1200 и даже к ВВЭР-ТОИ (Водо-водяной энергетический реактор типовой оптимизированный информатизированный), от исследовательских реакторов на быстрых нейтронах к нашей настоящей гордости — реакторам БН-350, БН-600, БН-800, от ОК-150, реактора атомного ледокола "Ленин", к современным РИТМам-200 и даже 400. А ещё можно пройтись-пробежаться по истории атомных закрытых городов — огромном архипелаге Минсредмаша, о котором теперь тоже стало известно куда как больше, чем буквально 10–15 лет тому назад. Разумеется, отдельного внимания заслуживают и неудачи атомного проекта — Кыштымский взрыв, тяжелейшая авария на американской АЭС "Три-майл-айленд", Чернобыльская катастрофа и крупнейшая авария уже XXI века на японской АЭС "Фукусима". Огромное

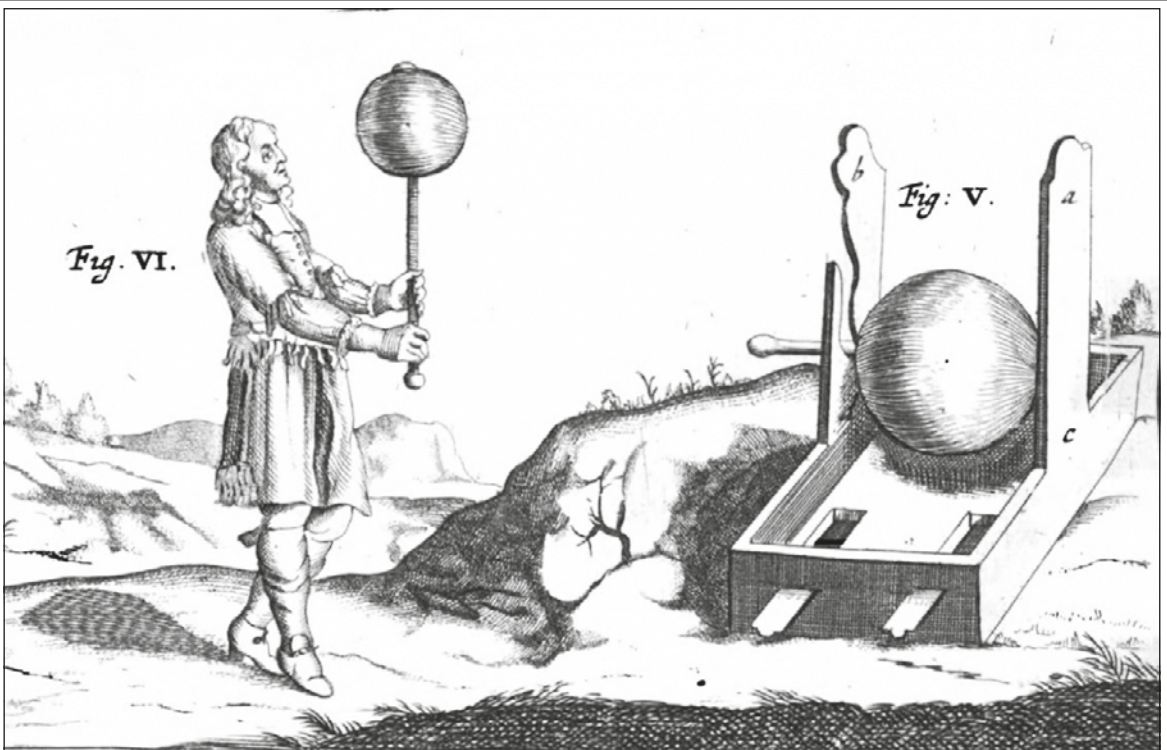
САГА ОБ АТОМЕ

Часть первая. Предыстория

количество тем. Интересного в атомной индустрии действительно много — от истории становления до нынешних дней.

В этом году, к примеру, Росатом планирует ввод в эксплуатацию первого в истории отечественного атомного проекта завода радиофармпрепаратов — вот мимо такого события точно пройти невозможно. Некой границей должен стать 2028 год, когда по планам Росатома должен быть введен в эксплуатацию первый в мире атомный энергетический комплекс, то есть полностью реализован проект "Прорыв". Для себя я грядущую новость считаю чрезвычайно знаковой и даже рубежной. В славном граде Северске возводится ведь не только реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-300, но и завод по переработке облучённого ядерного топлива, и комплекс по фабрикации свежего топлива. Разное в истории атомного проекта было, но вот такой комплексный подход реализуется впервые.

Начнём от печки. В нашем случае — с того момента, когда учёные впервые усомнились в древнегреческой аксиоме о том, что атом является мельчайшей, неделимой частицей вещества. Провозглашено это было прорыв веков тому назад, но не на эмпирическом, а на философском уровне. Но, прежде чем переходить к описанию конкретных экспериментов, снабдивших физиков эмпирическими данными, обеспечившими создание всё более точных теорий, нельзя не остановиться на невероятном, феноменальном открытии, сделанном в 1869 году на одном из заседаний Русского технического общества Дмитрием Ивановичем Менделеевым. Речь, разумеется, о его периодическом законе, который позволил сформировать многим хорошо знакомую периодическую таблицу химических элементов. Вот формулировка периодического закона о химических элементах, предложенная самим Дмитрием Ивановичем в 1871 году в окончательном виде: "Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел, стоят в периодической зависимости от их атомного веса". А вот так периодический закон звучит на современном уровне развития не столько химии, сколько физики: "Свойства химических элементов, а также формы и свойства образуемых ими простых веществ и соединений, находяться в периодической зависимости от величины зарядов ядер их атомов". 1869 год — открытие Менделеевым периодического закона. Это сейчас мы точно знаем, что атомы соединяются в молекулы за счёт связи их электронов, но электрон был открыт Джозефом Томсоном в 1897 году. Расположение на орбиталях и характеристики электронов действительно зависят от числа протонов в ядре атома, вот только планетарная модель была предложена Эрнестом Резерфордом в 1911 году, в 1913 году Нильс Бор предложил электронные оболочки, и в том же году Генри Мозли доказал, что фундаментальная характеристика химического элемента — не атомная масса, а заряд ядра. Открытие протона относят к 1917–1920 годам, двадцатые годы прошлого века ушли на то, чтобы квантовая механика объяснила структуру электронных оболочек и заданную физикой периодичность химических свойств, а нейтрон был открыт Джеймсом Чедвиком в 1932 году. От открытия периодического закона химических элементов до того момента, когда физики сумели, наконец, научно объяснить то, что было сформулировано Дмитрием Менделеевым, — более 60 лет. Мало того: это сейчас в таблице Менделеева насчитывается 118 химических элементов, а в 1869 году учёным было известно только 63 из них. Дмитрий Иванович не просто разложил известные данные по полочкам, по клеточкам, столбцам и строкам своей таблицы: он оставил в ней пустые клетки, заявив, что соответствующие элементы ещё не открыты, и уверенно предсказал их свойства. Эка-алюминий позже оказался галлием, эка-бор — скандиум, эка-кремний — германием. Когда эти элементы сумели найти и выяснилось, что их свойства оказались очень близки к расчётам Менделеева, периодический закон был признан всеми химиками планеты. Менделеев обнаружил очень глубокие закономерности природы, исключительно по химическим свойствам веществ и атомным массам. Периодический закон — лучший пример того, как эмпирические наблюдения опередили понимание физического механизма на десятилетия. Давайте ещё раз. В 1869 году, когда Менделеев сформулировал периодический закон, не были известны: электрон (28 лет до его открытия), протон (ещё около 50 лет), заряд атомного ядра (около 50 лет), квантовая механика (более 50 лет), нейтрон (ещё более 60 лет). Именно поэтому история открытия периодического закона была, есть и останется самым впечатляющим примером предсказательной силы науки. Нет, не удержусь, добавлю: к 1869 году многие атомные массы известных на тот момент химических элементов были определены с ошибками, инертные газы ещё не были открыты (первым из них открыли аргон — в 1894 году), радиоактивность стала известна в 1896 году. Обычно считалось, что экспериментальные данные священные и это теоретики должны под них подстраиваться, Менделеев же в нескольких случаях заявлял, что экспериментаторы ошибались, и последующие, более точные измерения показывали, что человек, опиравшийся только на открытый им периодический закон, оказывался прав. Навскидку — именно это произошло с бериллием и индием, но их точно было больше. Так что по-хорошему советуто: увидите портрет — кланяйтесь. Дмитрия Ивановича называют химиком, но этот химик утёр носы физикам, причём качественно и надолго.



Гравюра XVII века. Опыт немецкого физика и философа Отто фон Герике. Шар из серы приводился во вращение и натирался ладонью. Таким образом около 1663 года был создан один из первых электростатических генераторов.

Рассказывать о том, как физики открывали тайны атомного ядра без упоминания Менделеева и открытого им периодического закона химических элементов, — грех, и мы от него только что избавились, с чем и поздравляю. На историю создания и развития физики, если по гамбургскому счёту, можно смотреть и под таким углом: 60 с гаком лет мировому сообществу физиков потребовалось на то, чтобы осознать, что именно открыл Дмитрий Иванович и по каким таким причинам все предсказанные им свойства ещё не открыты химических элементов настолько точно совпали с самыми скрупулёзными измерениями. На молодёжном слэнге, пожалуй, вот так: физика всяко круче химии, но химик Менделеев оказался круче всех.

ВОЗВРАЩАЕМСЯ к физикам с их постепенным проникновением вглубь атома. Озарением этот процесс назвать точно не получится, но забавно, что путь-дорога началась с изучения такого явления, как молния. Явление, интересовавшее человека тысячи лет, — грозное, страшное, но одновременно величественное и красивое. В дохристианских религиях молния занимала одно из центральных мест, но в середине XIX века настала пора и эту гармонию поверять алгеброй. Учёные приступили к изучению электрической проводимости газов, частным случаем которых, собственно говоря, земная атмосфера и является. Именно изучение электрических разрядов привело физиков к невероятному на то время выводу: атом не является мельчайшей частицей вещества, он имеет собственную "архитектуру", состоящую из куда более миниатюрных частиц с собственными характеристиками и особенностями. Это сейчас для нас привычно звучат названия электронов, протонов, нейтронов и прочих нейтрино с мезонами, но с твёрдым убеждением в том, что греки были абсолютно правы в отношении атома, человечество прожило пару тысячелетий.

Жил да был в XVII веке немецкий государственный деятель, а по совместительству физик, инженер и философ Отто фон Герике. Государственный деятель — поскольку более 30 лет был бургомистром Магдебурга. Инженер, физик и философ — поскольку образование получил в университетах Лейпцига, Иены и Лейдена. Образование настолько глубокое, что в 1661 году, исследуя космические силы (без понятия, что это такое, но наверняка нечто очень важное), подумался до вопроса, который задал в письме своему другу: "Почему пушинка в воздухе притягивается и отталкивается от только что натёртого предмета?" Вопрос, согласитесь, весьма непростой, и фон Герике решил изучить его подробнее. Для удобства натирания предметов в 1663 году он изобрёл и создал первый в истории задокументированный электростатический генератор. Прошло всего ничего — каких-то 40 лет, и английский изобретатель Фрэнсис Хоксби, лаборант самого Исаака Ньютона, шагнул ещё дальше. Он заменил шар из серы в первом генераторе на стеклянный, да ещё и полый, приспособив для его раскручивания и натирания о шерсть ремённую передачу. Но важно не это — Хоксби сумел, используя крайне несовершенный насос, немного понизить давление внутри шара, и вот это уже действительно стало ближе к хоть немного научным экспериментам. Описание опытов, к которым он приступил в 1705 году, дано в книге самого Фрэнсиса Хоксби "Физико-механические эксперименты на различных предметах", впервые опубликованной в 1709 году. "Если на хорошо натёртый шар положить руку, внутри начинали плясать молнии, подобные огню святого Эльма". Прошло ещё 40 лет, и два экспериментатора, действовавших независимо друг от друга, да ещё и в разных городах и странах, сумели, экспериментируя с машиной Хоксби, изобрести первый электрический конденсатор — устройство, позволявшее накапливать электрический заряд. 1745 год, немецкий физик Эвальд Георг фон Клейст подвесил на шёлковых нитях-изоляторах печную трубу и соединил один её конец через цепь с вращающимся стеклянным шаром. На второй конец трубы был прикреплён гвоздь, воткнутый в пробку стеклянной ёмкости со спиртом, в который этот гвоздь и был погружён. Описание опыта содержится в книге фон Клейста: "Когда я отсоединил банку и понёс её в руке, ничего не случилось — было только небольшое свечение в темноте. Стоило же мне коснуться гвоздя, как я получил сильнейший удар, отбросивший меня в дальний угол комнаты". Разработка правил электротехнической безопасности, как видите, началась уже в XVIII веке, причём весьма активно. Но важен был другой факт: господа экспериментаторы выяснили, что электрический заряд можно накапливать, чтобы затем в нужное время использовать для любых экспериментов с целью дальнейшего изучения такого нового на то время явления, как электричество. Годом позже, в 1746-м, голландский физик-экспериментатор, сотрудник Лейденского университета Питер ван Мушенбрук не только независимо повторил опыт фон Клейста, но и сделал уже действительно серьёзный шаг вперёд. После того как стеклянный сосуд с жидкостью получил обкладку из металлической фольги изнутри и снаружи, наука получила первый образец совершенно реального конденсатора, причём весьма ёмкого. Поскольку ван Мушенбрук преподавал в университете, известность этот конденсатор получил именно благодаря его демонстрационным опытам, в связи с чем это устройство, то есть конденсатор, и получило своё название — лейденская банка. С этого момента электричество перестало быть лабораторным курьёзом, к его исследованиям приступили со всей доступной к тому времени тщательностью.

Решающим шагом стало изобретение Алессандро Вольта первого надёжного источника постоянного электрического тока — вольтова столба, сделанное им в 1800-м году. Вот после этого развитие электричества как науки резко ускорилось. В том же году был освоен электролиз воды с получением кислорода и водорода, а в 1803-м Василий Петров, создав самый крупный в мире вольтов столб — 3200 медных и цинковых кругов, 1700 В, открыл такое важное явление, как электрическая дуга, — здравствуй, электросварка.

ВЫЯСНИВ, что молния как явление — это электрический разряд в газовой среде (атмосфере) и получив надёжный источник постоянного тока, учёные вернулись к изобретению, сделанному ещё в начале XVIII века, — к газоразрядной трубке. Запаянная стеклянная трубка, в торцы которой впаяны электроды. Слева — катод с высоким отрицательным напряжением, справа — анод с высоким положительным, и внутри газ. Если немного снизить давление газа в запаянной трубке и подать приличное отрицательное напряжение на катод и положительное на анод, то газ в трубке начинает светиться. При изменении состава газа менялся и цвет этого свечения — и учёные с удовольствием погрузились в изучение этого эффекта. Для того чтобы экспериментаторам того времени было легко и радостно, потребовался существенный прогресс как в изготовлении тонкостенных стеклянных трубок, так и в совершенствовании насосов. Начинали с атмосферного воздуха при обычном давлении, но это вообще ничего не дало — даже напряжение в несколько тысяч вольт длинный газовый прожектор не пробивало. Снижаем давление — получаем тонкий шнур ярко-малинового цвета (случай атмосферного воздуха), соединяющий катод с анодом. Стали более совершенными насосы, удалось ещё значительно понизить давление — светящийся шнур размывается и расширяется, свечение заполняет почти весь объём трубки. В первом случае — дуговой разряд, во втором — тлеющий. Теория сегодня хорошо известна: при подаче тока на катод материал катода нагревается, испуская электроны. Электроны имеют отрицательный заряд, потому движутся с ускорением к положительно заряженному аноду, при этом ионизируя атомы находящегося в трубке газа. Но в 50-е годы позапрошлого века, когда двое немецких физиков-экспериментаторов, Юлиус Плюккер и Генрих Гейслер, приступили к систематическому изучению тлеющего разряда, никакой теории не было и в помине — атом оставался всё той же мельчайшей и неделимой частицей вещества. Гейслер, работавший в его собственной лаборатории при Боннском университете, — выдающийся стеклодув и специалист по насосам, чьими усилиями в газоразрядных трубках удалось достичь высокого вакуума, сумел, говоря современным языком, выйти на серийное производство этого оборудования для многих научных лабораторий Европы. Генрих Гейслер тесно сотрудничал с Юлиусом Плюккером, профессором того же Боннского университета, предоставляя ему оборудование для многочисленных экспериментов, в ходе которых Плюккером впервые были получены атомарные и молекулярные спектры водорода, азота и других химических веществ. Более того — работы Плюккера заложили основы физики плазмы, поскольку трубки Гейслера, по сути, были прообразом ускорителей: при высоких напряжениях электроны двигались со значительным ускорением, разгоняясь от минуса катода к плюсу анода. Ещё дальше продвинулся уже британский физик и химик Уильям Крукс уже в 70-е годы XIX века. Ещё более глубокий вакуум в трубке Гейслера и ещё более высокие потенциалы на электродах, ещё более точные эксперименты. Плюккер, а затем Крукс обнаружили, что при высоких напряжениях светиться начинал не только газ внутри трубки, но и само стекло, из которого трубка была выполнена. Эта тонкость позволила учёным обнаружить новый эффект: стекло начало светиться даже при высоком вакууме, когда свечение самого газа прекращалось. В середине 70-х годов XIX века появился термин — катодные лучи, поскольку, хоть их и не наблюдали внутри невооружённым глазом, внутри трубки "ничто" распространялось, причём прямолинейно, как и положено лучам. Уильям Крукс превратил катодные лучи в центральный объект своих исследований и выдвинул свою знаменитую гипотезу о "лучистой материи", ошибочную в деталях, но чрезвычайно плодотворную экспериментально. Казалось бы, ещё немного, ещё чуть-чуть, и кто-то должен был выдвинуть идею о том, что же именно распространялось в этой трубке, из чего именно состояла та самая лучистая материя. Но темпы развития науки в те времена только набирали свою скорость, до решающего вклада Джозефа Томсона оставалось ещё почти два десятка лет. Но вторая половина 90-х годов XIX века оказалась чрезвычайно плотной для развития физики — новые открытия посыпались, как из рога изобилия. 1895 год — знаменитые опыты Вильгельма Рентгена, 1896-й — открытие радиоактивности Антуаном Беккерелем, 1897-й — открытие электрона Томсоном, 1898-й — открытие полония и радия Марией Склодовской-Кюри и Пьером Кюри. Удивительное время, и совершенно иная драматургия истории физики как науки, требующая отдельного рассказа.

Более 40 лет физики готовили инструмент: исследовали тлеющий разряд, создавали спектроскопию, совершенствовали вакуумную технику, стекло, электроды, спорили о природе катодных лучей, наращивали точность экспериментов, открывали и изучали новые явления. И вот только после создания такой базы, после сотен и тысяч экспериментов состоялся прорыв в теории, в понимании физики всех этих экспериментов. Наступал XX век, развитие науки готовилось к качественному переходу.

Борис МАРЦИНКЕВИЧ

Продолжение следует