

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**ТРУДЫ ФРЕДЕРИКА ЖОЛИО-КЮРИ*)**
(АВТОРЕФЕРАТ)**ВВЕДЕНИЕ**

После непродолжительной работы в сталелитейной промышленности в Люксембурге (Объединенные сталелитейные предприятия Бурбах, Эш и Дюделанж) в 1925 г. по рекомендации профессора Ланжевена я был приглашен в Институт радия в качестве личного препаратора Марии Кюри. Так сбылось мое самое большое желание, пробудившееся в то время, когда в Парижской школе физики и химии я готовился стать инженером. Этим желанием было работать в лаборатории, занятой фундаментальными исследованиями.

Подготовительный путь исследователя в особенно привлекательной и живой области науки я имел счастье пройти под началом исключительного руководителя — Марии Кюри. Ободренный первыми успехами, я решил направить свою деятельность на преподавание в высших учебных заведениях и на научно-исследовательскую работу. Сначала я получил те звания, которые для этого были необходимы, вторую степень бакалавра, лиценциата наук, и начал работу над диссертацией по изучению электрохимических свойств радиоактивных и неактивных элементов в очень сильно разбавленных растворах. Я разработал новые методы, к которым пришел, изучая электрические свойства очень тонких металлических пленок, полученных путем возгонки и катодного распыления. Параллельно с этим я принимал участие в экспериментальных исследованиях радиоактивности, проводившихся Марией Кюри вместе с несколькими исследователями. Это доставило мне счастье впервые работать с Ирен Кюри, ассистентом лаборатории. Впоследствии нам было суждено объединить свои усилия в большинстве наших работ.

Будучи назначен в 1930 г., после защиты докторской диссертации, научным сотрудником «Национального фонда наук», я получил возможность оставить трудную работу по преподаванию в частной школе и посвятить все мое время научным исследованиям. В дальнейшем я продолжал работу в различных областях ядерной физики и ее применений, в особенности в биологии. Речь идет, прежде всего, об определении ядерных характеристик некоторых радиоэлементов, об изучении ионизации в газах, вызванной прохождением α -лучей, об исследовании излучений с очень малой энергией, сопровождающих испускание α -лучей. Мною была сконструирована новая камера Вильсона, позволяющая фотографировать следы, оставляемые ионизирующими частицами в газе при низком давлении. Я особо хочу отметить, что при первых испытаниях этого прибора я пользовался

*) Обзор работ Ф. Жолио-Кюри, составленный им самим перепечатывается без изменений из книги: Ф. Жолио-Кюри, Избранные труды, АН СССР, Москва, 1957.

очень полезными советами Д. Скобельцына (Ленинград), который в течение двух лет проводил важные опыты в Институте радия.

При помощи разработанной мною камеры мне удалось изучить поведение очень тяжелых атомов при их быстром движении в веществе, а также баллистические процессы, протекающие в момент взрыва радиоактивных атомов. Снимки этих взрывов, исключительно поучительные, часто использовались и воспроизводились во многих работах по радиоактивности. Наконец, продолжая усилия, предпринятые Марией Кюри, мы с Ирен Жолио-Кюри в разное время извлекали большие количества радия D и полония, накопленные в 1,5 г радия. В результате этой работы Институт радия стал обладателем наибольших количеств RaD и полония, которые к тому времени были выделены где-либо во всем мире. Из дальнейшего изложения будет видно, сколь ценным оказалось обладание такими сильными источниками.

Эти первые, довольно разнообразные исследования явились для меня хорошей подготовкой к тому, чтобы совместно с кем-либо или самостоятельно приступить к решению проблем большого значения. В следующих главах я подытожу основные результаты, полученные с начала моих исследований, т. е. с 1927 г. Результаты эти были опубликованы в научных периодических изданиях.

ГЛАВА I

ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ В ИНСТИТУТЕ РАДИЯ В ПАРИЖЕ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ В ТОНКИХ СЛОЯХ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ ПУТЕМ ТЕРМИЧЕСКОГО И КАТОДНОГО РАСПЫЛЕНИЯ. ПРИМЕНЕНИЯ

Разработав в Институте радия несколько способов приготовления путем катодного распыления и термической возгонки очень тонких металлических пленок на различных подложках (слюда, стекло, кварц, ацетат целлюлозы и т. д.), я изучил поведение удельного электрического сопротивления ρ и температурного коэффициента α электрического сопротивления в их зависимости от (определяемой по весу) толщины металлической пленки, а также от температуры и от содержания окклюдированных газов. Известно, что ρ и α тонких металлических пленок очень сильно отличаются от соответствующих коэффициентов массивных металлов; так, удельное сопротивление пленок обычно оказывается очень большим. Как правило, удельное сопротивление меняется во времени, однако это изменение происходит достаточно медленно, чтобы не помешать изучению влияния таких факторов, как, например, температура.

При повышении температуры пленки удельное сопротивление возрастает сначала по линейному закону *обратимым* образом, затем, начиная с некоторой температуры, удельное сопротивление уменьшается необратимо. Если прекратить нагрев и снизить температуру, то изменение удельного сопротивления становится снова обратимым. Для каждого обратимого этапа можно вычислить температурный коэффициент удельного сопротивления. Необратимые этапы объясняются частичной рекристаллизацией металла под действием температуры. При последовательном повторении этапов нагрева удельное сопротивление и его температурный коэффициент стремятся к значениям, соответствующим массивному металлу. Окклюдирование газов в кристаллической решетке замедляет это изменение, в то время как повышение температуры ускоряет его. Для того чтобы охарактеризовать этапы рекристаллизации тонкой металлической пленки, необходимо и достаточно знать два фактора, а именно: удельное сопротивление и его температурный коэффициент.

Параллельно с этими исследованиями мной были усовершенствованы или изобретены некоторые виды применения очень тонких металлических пленок. Сюда относятся приготовление очень высоких сопротивлений с температурным коэффициентом сопротивления, близким к нулю, достаточно устойчивых при относительно сильных токах; болометры высокой чувствительности с очень малой тепловой инерцией (впоследствии я изготовил очень чувствительные термодары). Я указал на целесообразность использования сульфида свинца, находящего себе в настоящее время широкое применение. Сюда относятся также техника получения сверхтонких слоев солей металлов и применение ее для приготовления светочувствительных пленок иодистого серебра толщиной около 30 мкм; приготовление золотых пленок толщиной в 10 и более мкм без подложки. Этот способ, рекомендованный мной Г. П. Томсону, был им применен к различным металлам и с успехом использован для обнаружения дифракции электронов, что и отмечено в его статье в *Proceedings of the Royal Society* (1929 125, 797).

2. ЭЛЕКТРОХИМИЯ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Количества радиоэлементов, которыми обычно располагают, очень малы, концентрация этих элементов в растворах часто ниже 10^{-9} доли концентрации нормального раствора, и поэтому изучение их электрохимических свойств может производиться лишь специальными методами.

Мной разработан новый метод исследования, при котором непрерывно следят за выделением радиоэлементов на электродах, погруженных в раствор, или за их растворением. Electrodes, на которых можно проследить выделение радиоактивного вещества, закрывают два отверстия, сделанные в стенке электролизера. Эти электроды достаточно тонки для того, чтобы излучение отлагающихся на них радиоактивных веществ могло проходить через них. Измерение ионизационного тока, вызванного излучением в камере, расположенной позади каждого электрода, позволяет вычислять в каждый данный момент те невосомые количества вещества, которые выделились на электроде. Этот метод, примененный к изучению электрохимии полония, позволил мне найти закон, управляющий кинетикой выделения радиоактивного катиона в зависимости от потенциала электрода. Впервые кинетическое исследование такого рода было проведено в области крайне сильного разбавления (10^{-9} н.). Этот закон оказался таким же, как и закон, управляющий ходом неполных химических реакций. Я попытался дать этому теоретическое истолкование. Критические потенциалы выделения активного аниона и катиона в азотнокислой среде, измеренные ранее Хевеши, Панетом и г-жой Вертенштейн, были уточнены. Я нашел также соответствующие значения потенциалов для других сред (H_2SO_4 , CH_3COOH). В восстанавливающей среде, как, например, в щавелевой кислоте, мной выявлен новый катион полония, существенно более электроположительный, чем катион, имеющийся в указанных выше растворах. Изучение влияния различных химических реактивов на условия выделения позволило мне найти несколько новых реакций окисления и восстановления полония (реакция с хромовой кислотой, с перекисью водорода, теллуристой кислотой, сернистой кислотой).

3. НОВЫЙ МИКРОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД, ПРИМЕНИМЫЙ К НЕРАДИОАКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

Некоторые наблюдения, сделанные в ходе предыдущей работы, позволили мне найти новый метод исследования электрохимических свойств и количественного определения неактивных элементов в весьма разбавлен-

ном растворе. Вещество выделяют на металлическом электроде, который достаточно тонок для того, чтобы через него проходил свет от небольшой лампочки, установленной сверху. Количество выделившегося вещества определяется по мере его выделения по увеличению «оптической плотности» электрода. Измерение производится непрерывно при помощи фотоэлемента, на который падает световой пучок, проходящий сквозь раствор.

Электрод готовится путем катодного распыления золота, тонкий слой которого наносится на стеклянные пластинки. Примененный мною прибор позволяет без труда обнаруживать выделение 10^{-7} г вещества. Критические потенциалы выделения висмута в азотнокислом растворе (от 10^{-4} до 10^{-6} г в 5 см³ воды) и теллура в сернокислом растворе (10^{-4} г в 5 см³ воды) были определены, не прибегая к измерению тока электролиза, как это делается обычно при более концентрированных растворах.

Таким путем я исключил источники ошибок, обусловленных влиянием водородных ионов, имеющихся в большом количестве в этих по необходимости кислых растворах (диффузионный ток водородных ионов).

4. ИОНИЗАЦИЯ, СОЗДАВАЕМАЯ α -ЛУЧАМИ В ЧИСТОМ ВОДОРОДЕ

Совместно с Т. Онада я определил изменение ионизации вдоль траектории α -частиц полония (в чистом водороде), а также с точностью до 2/1000 и пробег этих частиц в указанном газе.

Полученные нами данные были использованы, в частности, для сравнения соотношения пробег — скорость α -лучей (определяемого путем непосредственных измерений) с соотношением, выведенным из кривой пробег — ионизация.

5. ЧИСЛО ПАР ИОНОВ, СОЗДАВАЕМЫХ ОДНОЙ α -ЧАСТИЦЕЙ RaC' И ПОЛОНИЯ В ВОЗДУХЕ

Пользуясь новым методом, я, совместно с Ирен Жолио-Кюри, точно определил число пар ионов, создаваемых α -частицей RaC' и Po при ее полном поглощении в воздухе. Эта величина используется при решении важных проблем радиоактивности, особенно для определения числа Z актов распада, происходящих в единицу времени в 1 г радия.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА RaC' МЕТОДОМ ЯКОВСЕНА. ОПЫТЫ С ThC'

Среднее время жизни RaC', слишком короткое для непосредственного измерения спада активности, сначала определялось путем экстраполяции эмпирического закона Гейгера — Нэттола, определяющего соотношение между константой распада и пробегом α -лучей в воздухе. При этом получается примерно 10^{-8} сек. Якобсен определил это среднее время жизни опытным путем, применив остроумный метод, основанный на наблюдении распада атомов RaC' вдоль пути пучка этих атомов, отбрасываемых при радиоактивном β -распаде. Найденный Якобсеном период полураспада равен около 10^{-6} сек., т. е. имеет значение, гораздо большее, чем можно было предвидеть. Характер полученных им результатов заставил предположить, что вслед за β -распадом RaC' происходит испускание фотона в соответствии с законом, аналогичным тому, который управляет α - и β -распадом. Период γ -распада должен быть порядка 10^{-5} сек. Этот результат имел существенное значение, так как согласно теории γ -испускания следует ожидать значения в 10^8 меньшие.

Проведение такого опыта связано с большими трудностями. Хотя он и был очень тщательно обсужден, тем не менее результаты его настолько важны, что представлялось полезным его повторить. Мне удалось повто-

рить эти опыты в лучших условиях, устранив, в частности, причины ошибок, обусловленных отражением атомов отдачи от стенок коллиматоров. Таким образом, период полураспада атома RaC' был уточнен, и полученные результаты не обнаружили никакого заметного промежутка времени между вылетом ядерного электрона RaC , сопровождаемым отдачей атома RaC' , и испусканием γ -кванта, в противоположность тому, что нашел Якобсен. Путем аналогичного опыта мне удалось установить, что период полураспада ThC' меньше 10^{-6} сек. Измерения, проведенные позднее другим методом, показали, что период полураспада радия составляет $1,45 \cdot 10^{-4}$ сек., т. е. более чем в 100 раз превышает период, который был найден нами. Налицо расхождение, которое трудно объяснить. Значение $1,45 \cdot 10^{-4}$ сек., несомненно, правильно.

7. ИССЛЕДОВАНИЕ α -ЛУЧЕЙ (АТОМЫ ОТДАЧИ ОТ α -ЧАСТИЦ). КАМЕРА ВИЛЬСОНА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

При испускании радиоактивным атомом α -частицы оставшаяся часть атома испытывает отдачу, которая согласно принципу сохранения импульса должна быть прямо противоположна направлению вылета α -частицы. Пробеги этих частиц отдачи в воздухе при нормальном давлении оказываются порядка 0,1 мм, в результате чего при этих условиях они не могут наблюдаться в камере Вильсона.

Мной была сконструирована новая камера Вильсона, позволяющая производить расширения при давлениях, близких к давлению насыщенных водяных паров при комнатной температуре. Поскольку примесь каких-либо других газов, помимо водяных паров, в камере Вильсона практически отсутствует, давление в конце расширения близко к 1 см Hg. Длина пробегов α -частиц в этом случае примерно в 76 раз больше, чем при атмосферном давлении. Указанные условия, которых раньше не удавалось достичь, позволили мне наблюдать распад отдельных атомов и подробно изучить явления, сопровождающие прохождение α -частиц через вещество.

Работы по этому вопросу проводились ранее Акиама, однако давление, при котором он наблюдал эти явления, было слишком высоким, чтобы можно было получить определенные результаты. В частности, этот автор наблюдал следы α -частиц (случай Ap и AcA), которые отклонялись от продолжения следа α -частицы. Чтобы удовлетворить принципу сохранения импульса, Акиама допустил, что при этих актах распада происходило испускание не обнаруживаемого на снимках фотона со значительной энергией (свыше 10^8 эв), импульс которого складывался с импульсами α и α -частиц.

Мне удалось показать, что во всех таких случаях имеется по крайней мере еще третья траектория, видимая в месте распада, и что, следовательно, произошло столкновение α -частицы с атомами газа в камере. Вероятность этих столкновений оказывается гораздо большей непосредственно в месте распада, чем в удалении от этого места вдоль α -луча. Это связано с тем, что атом отдачи при вылете α -частицы еще мало ионизован, диаметр атомного столкновения велик, а именно равен 10^{-9} см, вследствие чего имеется большая вероятность первого столкновения на протяжении пути, не различимом на снимке. При этом первом соударении атом отдачи ионизируется сильнее и его диаметр атомного столкновения уменьшается, тогда как вследствие увеличения заряда его ионизирующая способность возрастает (электронные соударения). К концу пробега скорость снижается, заряд ядра отдачи уменьшается и вероятность атомного столкновения вновь возрастает. К концу пробега число исходящих из одной точки следов снова увеличивается. Найденный мной пробег α -лучей Ap и AcA испытывает сильные флуктуации, обусловленные флуктуациями числа столкновений

с атомами газа, через который проходят α -частицы. Распределение углов соударений показывает, что они аналогичны столкновениям между сферами, притяжение между которыми очень быстро уменьшается с расстоянием. Большая часть ударов является упругими. Однако иногда я наблюдал аномальные соударения, при которых угол отклонения α -частицы гораздо больше угла, который можно ожидать в предположении упругого соударения, причем, однако, траектории лежат в одной и той же плоскости.

Очень трудно истолковать это любопытное явление. Возможно, что атом, α -распад которого наблюдается, находится внутри микрокапли воды; известно, что в газе камеры эти капельки имеются в большом количестве во взвешенном состоянии.

Благодаря применению такой камеры Вильсона низкого давления впервые удалось довольно детально изучить поведение тяжелых атомов с массами порядка 200 при высоких скоростях (около $3 \cdot 10^7$ см/сек) в газе, состоящем из гораздо более легких атомов. Эти опыты не дали существенных результатов, которые касались бы самого процесса распада, однако они позволили автору дать более полную качественную оценку процесса торможения таких атомных частиц отдачи при прохождении их через вещество. Именно благодаря этому спустя несколько лет автору удалось разработать простой экспериментальный метод, дающий физическое доказательство деления урана и тория под действием нейтронов, и указать практический способ физического отделения осколков деления урана от массы самого урана, в которой они образовались.

8. НАКОПЛЕНИЕ БОЛЬШИХ КОЛИЧЕСТВ RaD И ПОЛОНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ α -ЛУЧЕЙ

Изучение редких явлений, сопровождающих прохождение α -частиц через вещество, в большой степени облегчается при использовании сильных источников α -лучей. В частности, из сказанного ниже будет видно, сколь ценным оказалось обладание такими источниками. Применение полония дает особое преимущество, поскольку он испускает почти исключительно только α -лучи.

Благодаря инициативе Марии Кюри мы располагали уже в Институте радия значительным количеством «предка» полония — RaD. Этого количества, однако, было недостаточно для нужд новых исследований.

Г-жа Жолио-Кюри и я в разное время извлекали различными методами RaD и полоний, накопившиеся в течение нескольких лет в 1,5 г радия. Манипуляции с этим ценным продуктом при таких концентрациях очень сложны и требуют многочисленных предосторожностей ввиду опасности, связанной с импульсанием интенсивного излучения. Извлечение указанных продуктов позволило нам учетверить количество RaD, имевшееся в распоряжении лаборатории. В сотрудничестве с г-жой Жолио-Кюри я разработал способы приготовления полониевых источников очень высокой активности как путем электролиза, так и путем термической возгонки. Таким образом, мы приготовили полониевые источники интенсивностью порядка 200 милликюри, нанесенные на поверхность около 20 мм².

9. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНО ПОГЛОЩАЕМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩЕГО α -РАСПАД ПОЛОНИЯ

На основе одной довольно старой работы было сделано предположение, что полоний, помимо α -лучей, испускает γ -излучение с очень малой проникающей способностью. Совместно с г-жой Жолио-Кюри я показал, что предполагаемое γ -излучение отсутствует, но что наблюдаемые эффекты

должны быть приписаны Н-лучам — продуктам превращения ядер азота, возникающим в окружении источника α -лучей.

Мы изучили возбуждение α -лучами характеристических K - L - и M -излучений различных элементов (никель, медь, цинк, серебро). Нами впервые наблюдались L - и M -излучения полония и мы путем измерения коэффициентов поглощения определили длину их волны, а также число квантов, испускаемых на одну α -частицу.

Исследование этих слабо проникающих излучений облегчается тем, что почти отсутствует непрерывный фон рентгеновых лучей, образующихся при торможении α -частиц. Предшествовавшие опыты обнаружили существование проникающего γ -излучения очень малой интенсивности с энергией квантов порядка 900 кэв. Установить происхождение этого излучения нам не удалось. Боте и Беккер независимым путем обнаружили испускание подобного же излучения и приписали его ядру полония.

Эти опыты дали нам большую практику в различении и измерении интенсивности сложных излучений, в состав которых входят электроны, тяжелые частицы и фотоны с практически близкими друг к другу проникающими способностями.

10. О РАДИОАКТИВНОСТИ САМАРИЯ

Г-н фон Хевеши и г-н Паль при помощи счетчика показали, что самарий является слабо радиоактивным веществом, испускающим α -лучи. Морис Кюри предложил мне провести совместно с ним опыты в камере Вильсона, которые помогли бы выяснить этот вопрос. Поскольку пробег α -лучей в воздухе при нормальных условиях мал, а именно порядка 1 см, то нам пришлось применить разработанную мной аппаратуру, позволяющую производить расширения при пониженном давлении с тем, чтобы получить пробеги большей длины. В результате большого числа расширений нам удалось сфотографировать несколько следов α -частиц, исходящих из тонкого слоя оксалата самария, и таким образом объективно подтвердить существование этой радиоактивности. Максимальный пробег, какой мы наблюдали, оказался несколько выше значения, которое указывалось ранее. Мы сделали несколько допущений относительно массового числа радиоактивного изотопа самария. Константа распада, вычисленная нами по числу наблюдаемых частиц, хорошо согласуется со значением, приведенным Хевеши и Палем для смеси изотопов самария.

11. ЭФФЕКТ ВЫБИВАНИЯ ЯДЕР ПРОНИКАЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ БОТЕ И БЕККЕРА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СУЩЕСТВОВАНИЯ НЕЙТРОНА

Со времени открытия, в конце прошлого столетия, радиоактивности Анри Беккерелем и радиоэлементов Пьером и Марией Кюри к 1930 г. наши представления о структуре и свойствах атомов в большой степени уточнились.

Благодаря главным образом работам Резерфорда и Н. Бора стало известно, что в атоме следует рассматривать две области. Центральную область — очень малых размеров, в которой сосредоточена большая часть массы атома, т. е. ядро, состоящее из протонов (ядра атомов водорода) и электронов. Вокруг ядра на расстоянии, в 100 000 раз превышающем его диаметр, вращаются притягиваемые к ядру электроны, число которых равно положительному электрическому заряду ядра.

В 1919 г. Резерфорд удалось вызвать первые превращения одного элемента в другой, однако он не смог дать химическое доказательство этого явления. Модель атома, принятая в то время, удовлетворительно отражала совокупность явлений, протекающих вне ядерной области, и лишь частично объясняла ядерные явления.

Явления радиоактивности и искусственного ядерного превращения имеют место в ядрах атомов. Для объяснения этих явлений тогда допускали, что ядро состоит из протонов и электронов. Присутствие в ядре электронов, которое казалось необходимым для объяснения β -радиоактивности, приводило к серьезным трудностям. Помимо всего прочего, оно оказывалось в противоречии с законом сохранения спинов при этом типе радиоактивности и, кроме того, размеры электронов слишком велики в сравнении с размерами ядер, и было неясно, как они могут уместиться в ядре.

Лишь начиная с 1930 г. результаты серии опытов большого значения, проведенных в разных странах, позволили благодаря открытию элементарной частицы — нейтрона — устранить эти большие трудности.

Ядро состоит из нейтронов и протонов. Нейтрон является элементарной частицей вещества, не обладающей электрическим зарядом; масса и размеры этой частицы очень близки к массе и размеру протона. Таково было положение в 1932 г.

В основе опытов, позволивших открыть нейтрон, лежат наблюдения Боте и Беккера в Германии, опубликованные в 1930 г. Эти авторы показали, что облучение известных легких элементов, таких, как бор и бериллий, α -лучами полония приводит к испусканию лучей, которые, согласно их

После решающих опытов Чадвика не могло оставаться никаких сомнений в существовании нейтронов.

Я продолжал эти исследования совместно с г-жой Жолио. Мы изучали следующие основные вопросы:

Определение, используя эффект выбивания протонов, кинетической энергии нейтронов, испускаемых глицинием (бериллием). Сложность излучения бериллия (нейтроны + фотоны). Изучение условий испускания, а также пределов испускания нейтронов и фотонов литием, бором и бериллием. Определение энергий резонансных уровней α -частиц для этих ядер. Изучение свойств нейтронов, вычисление относительных эффективных сечений соударения, рассмотрение выхода испускаемого излучения.

Мы выявили новые типы ядерного превращения фтора, натрия и алюминия (из которых каждый обладает лишь одним устойчивым нуклидом), которые происходят под действием α -лучей с испусканием нейтрона вместо протона. Таким образом, мы впервые показали, что одно и то же ядро может подвергаться двум различным ядерным превращениям, вызываемым одними и теми же бомбардирующими частицами. Мы подтвердили результаты опытов Физера, показывающих, что нейтрон способен вызывать ядерные превращения, и совместно с Пьером Савелем обнаружили явление γ -испускания без захвата α -частиц.

Масса нейтрона, выведенная Чадвиком из реакции ${}_5\text{B}^{11} + {}_2\text{He}^4 = {}_7\text{N}^{14} + {}_0\text{n}^1$, равна 1,006, следовательно, меньше массы протона. Впоследствии мы показали, что масса нейтрона больше массы протона (§ 14).

Нам пришлось уделить большое внимание трудности интерпретации испускания нейтронов фтором и алюминием при облучении их α -частицами. В этих случаях нельзя было написать соответствующую ядерную реакцию так же просто, как для бора и бериллия. Действительно, ядра, образующиеся при этих ядерных превращениях, являются радиоактивными и испускают β -лучи.

фотонами. Совместно с г-жой Жолио-Кюри я показал (методом камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле), что это испускание обусловлено не нейтронами, а фотонами большой энергии. С повышением атомного номера излучателя доля положительных электронов быстро увеличивается, причем максимальная энергия положительных электронов не зависит от атомного номера.

Мы доказали, что излучение, состоящее из фотонов, способно при прохождении через вещество вызвать испускание положительных электронов. Логично было считать, что фотоны большой энергии, имеющие другое происхождение, обладают таким же свойством. Андерсон, Нидермайер, Л. Мейтнер, К. Филипп и мы почти одновременно показали, что действительно γ -лучи тория ThC'' вызывают то же явление.

Наконец, мы получили в камере Вильсона снимок, впервые обнаруживающий появление в газе отрицательного и положительного электронов, исходящих из одной точки. Рассмотрения численных значений кинетических энергий электронов и только что упомянутый снимок показывают, что фотон с энергией $h\nu$, проходящий через поле ядра, исчезает, создавая два электрона с зарядами противоположного знака. Для такой материализации, как говорят, «внешней», нужна энергия $1,02 \cdot 10^6 \text{ эв}$; избыток энергии $h\nu - 1,02$ сообщается двум электронам в виде кинетической энергии.

Может случиться, что возбужденное ядро (бериллий под действием α -лучей) испускает вместо фотона пару электронов, один из которых отрицательный, а другой положительный. Все происходит так, как если бы в поле ядра, испускающего фотон, этот фотон материализовался бы в пару электронов. Мы дали этому обнаруженному нами явлению наименование **внутренней материализации**. Теория внутренней материализации была впервые дана некоторое время спустя Оппенгеймером. Она опубликована в журнале *Physical Review*.

Термин материализация может привести к путанице. Поэтому поясним, что под **материализацией** мы понимаем преобразование квантовой энергии фотона в массу покоя двух электронов*), один из которых отрицательный, а другой — положительный, и в кинетическую энергию, сообщаемую каждому из них. При этом явлении соблюдается закон сохранения энергии и количества движения.

13. АННИГИЛЯЦИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ СОУДАРЕНИИ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Дирак, теоретически предсказавший существование положительных электронов, пришел к заключению, что среднее время жизни позитона мало (около 10^{-9} сек. в воде) и зависит от электронной плотности среды, через которую позитон проходит. Положительный электрон, встретившись после того, как он растратил большую часть своей скорости, с отрицательным электроном, дематериализуется вместе с последним, создавая два фотона с энергией, равной 500 кэв . Если столкновение происходит близ ядра, то испускается один фотон с энергией 10^6 эв .

Эксперименты, имевшие целью проверку этих предсказаний, были выполнены независимо и одновременно Ж. Тибо и мной.

Мои опыты показали, что поглощение положительных электронов в свинцовом или алюминиевом излучателе приводит к появлению примерно двух (между 1,6 и 3) фотонов с энергией около 500 кэв на один положительный электрон, подтвердив таким образом предсказания Дирака в этой части.

*) Здесь в тексте автором допущена терминологическая неточность. Имеется в виду преобразование энергии фотона в собственную энергию mc^2 покоящихся свободных электронов (масса которых равна m). (Прим. ред.)

Определение энергии испускаемых фотонов производилось методом трохойды при помощи счетчиков, путем измерения поглощения этих фотонов в достаточно толстых свинцовых пластинках ($6,84 \text{ г на см}^2$) с целью получения высокой точности, а также с целью обнаружения, помимо фотонов с энергией 500 *кэв*, фотонов с энергией 1000 *кэв*. Оказалось, что если последние и испускаются, то лишь в крайне малом числе.

14. ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ—ПРОДУКТЫ ЯДЕРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ. МАССА НЕЙТРОНА

Интерпретация испускания нейтронов фтором, алюминием и натрием под действием α -лучей полония приводила к большим затруднениям. Как указывалось в § 10, был такой момент, когда мы рассматривали возможность электронного захвата (еще задолго до открытия этого явления).

Новые опыты, проведенные нами с камерой Вильсона, показали, что указанные элементы при бомбардировке α -частицами испускают положительные и отрицательные электроны. Это же относится и к случаям бора и бериллия. Все эти элементы при облучении их α -частицами испускают нейтроны и, за исключением бериллия, также протоны.

Статистика числа негатов и позитонов, испускаемых каждым из этих элементов при α -облучении, и измерение кинетических энергий этих электронов обнаруживают большую разницу между бериллием и другими элементами. Мы объяснили эти результаты, приписав испускание бериллием позитонов внутренней материализации, в то время как испускание позитонов бором, фтором, натрием и алюминием должно быть, как мы полагали, связано с испусканием нейтронов. Отсюда мы сделали заключение, что в случае этих элементов имеют место два типа ядерных реакций: одна из этих реакций сопровождается испусканием протона, а другая — испусканием одного нейтрона и одного положительного электрона, после чего в конечном итоге образуется такой же устойчивый элемент. Иногда вместо одного протона испускаются нейтрон плюс положительный электрон.

Чтобы охарактеризовать происхождение этих положительных электронов, мы их называли положительными электронами — продуктами ядерных превращений.

Непосредственным следствием этого был пересмотр вопроса о массе нейтрона. Мы впервые вычислили эту массу, исходя из энергетического баланса реакций с B^{10} , F^{19} , Na^{23} , Al^{27} ; она оказалась большей массы протона. Нейтрон оказывается неустойчивым и может превращаться в протон; экспериментальное значение, вычисленное нами, находится в пределах $1,00890 < m < 1,0100$. Значение измеренной массы, принимаемое в настоящее время, равно 1,00897.

Эти результаты были получены до открытия фотоядерных реакций, и, в частности, реакции диссоциации дейтрона, которая привела Д. Чадвика и Гольдгабера к аналогичному заключению. Полученные нами результаты, после их опубликования в научных журналах, явились частью сообщения, представленного мной от имени Ирен Кюри и моего, на Седьмом Конгрессе Сольвея в октябре 1933 г. в Брюсселе.

15. НОВЫЙ ТИП РАДИОАКТИВНОСТИ. ХИМИЧЕСКОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ЯДЕРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ. ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

Показав, что ядерные превращения, такие, как превращения B^{10} , F , Na , Al под действием α -лучей полония, приводят к испусканию нейтронов и позитонов, мы прежде всего исследовали, не происходит ли испускание нейтрона и позитона при одном и том же энергетическом пороге падающих

α -лучей, и, во-вторых, если это так, то не происходит ли испускание нейтрона и положительного электрона одновременно.

Уже статистика энергий испускаемых позитонов, выведенная из статистики радиусов кривизны следов этих частиц в камере Вильсона, показывала, что мы имеем дело со спектром, похожим на непрерывный β -спектр естественного радиоэлемента, однако сначала мы не придали особенного значения этому сходству. Мы приступили к осуществлению программы исследований, изложенной в начале этого параграфа. Прежде всего оказалось, что испускание нейтронов и позитонов начинается при одной и той же энергии α -частиц (один и тот же порог), однако именно в этом и состояло существо открытия — мы заметили, что если после облучения α -частицами с энергией, превышающей порог для испускания нейтронов и позитонов, энергия α -частиц нами уменьшалась и доводилась до значения ниже порогового или даже становилась равной нулю, то испускание нейтронов тотчас же прекращалось, в то время как испускание позитонов продолжалось.

В условиях наших опытов мы могли измерять интенсивность этого испускания в течение примерно часа в случае бора и в течение более 15 мин. в случае алюминия. Аналогичный результат мы получили с магнием.

Особенности этого испускания аналогичны тем, которые характеризуют естественную β -радиоактивность, а именно — экспоненциальный спад во времени и испускание непрерывного спектра электронов. Закон накопления активности в облучаемом веществе такой же, как и закон, управляющий накоплением радона в радии.

Мы тотчас же предположили, что облученный бор образует изотоп азота — азот 13, алюминий — изотоп фосфора — фосфор 30, магний — изотоп кремния — кремний 27 и изотоп алюминия — алюминий 28. Эти изотопы в природе не существуют и распадаются с испусканием положительных электронов, за исключением алюминия 28, который испускает отрицательные электроны (период полураспада ${}^7\text{N}^{13}$ —14 мин., ${}^{15}\text{P}^{30}$ —3 мин. 45 сек., ${}^{13}\text{Al}^{28}$ —2 мин. 45 сек.). Однако надо было дать еще химическое доказательство правильности такой интерпретации.

Мы идентифицировали и химически отделили элементы, образующиеся в случае бора и алюминия. Этими элементами оказались азот и фосфор. Указанные опыты дали первое химическое доказательство искусственных ядерных превращений. Мы назвали образовавшиеся элементы радиоазотом, радиофосфором, радиокремнием, радиоалюминием. Химические операции должны были проводиться за несколько минут, что заставило нас разработать специальные методы. Мы предположили, что при облучении элементов α -лучами или другими бомбардирующими частицами, под действием которых происходят ядерные превращения, т. е. протонами, дейтронами и нейтронами, могут образовываться другие новые радиоактивные элементы. Эти опыты были повторены и развиты в лабораториях многих стран. В настоящее время известны способы получения многих сотен радиоэлементов, испускающих β^+ -, β - или α -лучи. Некоторые из этих элементов имеют очень большие периоды полураспада (тысячи лет). Э. Ферми при помощи нейтронов удалось создать очень много радиоэлементов, также и трансурановых.

Очень эффективными бомбардирующими частицами являются ускоренные дейтроны. Применения этих новых элементов в химии, биологии и в промышленности очень многочисленны.

За эту работу Ирен Кюри и мне была присуждена Нобелевская премия по химии. В произнесенном мной тогда (декабрь 1935 г.) Нобелевском докладе я указал путь освобождения ядерной энергии через осуществление цепных ядерных реакций.

16. СООРУЖЕНИЕ ДВУХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТАНОВОК И УСКОРЕНИЕ ИОНОВ. ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО УГЛЕРОДА ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ КОРОНИРОВАНИЯ

Количества новых радиоэлементов, которые мы получали при помощи естественных источников α -лучей, были слишком малы для того, чтобы их можно было легко использовать для применения. Получить радиоэлементы в количествах, необходимых для практического их применения, можно, используя интенсивные пучки бомбардирующих частиц, создаваемые за счет очень высокого напряжения в трубках для ускорения ионов.

Благодаря директору «Школы общественных работ» в Кашане г-ну Эйролю, предоставившему в мое распоряжение большое помещение и обеспечившему мне помощь своих механических мастерских, я соорудил высоковольтный генератор Ван де Граафа на напряжение до 1,2 млн. вольт и ускорительную трубку типа трубки Лоритсена.

Первые испытания этого генератора показали, что для того, чтобы избежать коронирования, целесообразно помещать генератор в атмосферу такого газа, который создавал бы защитную оболочку вокруг кондукторов. В особенности четыреххлористый углерод обладает замечательными свойствами в этом отношении. Однако установлено, что он образует CoCl_2 (работа проведена совместно с гг. Фельденкрайс и Лазаром). В настоящее время применяется газ фреон (CF_2Cl_2).

С другой стороны, совместно с Лазаром и Савелем я приспособил импульсный генератор на напряжение 2 млн. вольт в лаборатории Ампера (Компани генераль электрокерамик) для ускорения ионов и электронов. Ускоряющая трубка, применявшаяся в качестве источника рентгеновых лучей, давала излучение с энергией квантов между 1,3 и 2 Мэв. Интенсивность такого излучения эквивалентна интенсивности γ -лучей, испускаемых 1,0 кг радия. К сожалению, эти трубки недолговечны. Трубка такого же типа, примененная в качестве источника ускоренных дейтронов, позволяет получать радиоэлементы в количествах, приблизительно в 100 раз больших, чем те, которые возможно было в то время получать в Институте радия путем бомбардировки частицами, испускаемыми естественными источниками.

ГЛАВА II

ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ХИМИИ В КОЛЛЕЖ ДЕ ФРАНС И В ЛАБОРАТОРИИ АТОМНОГО СИНТЕЗА (CNRS)

Будучи назначен в 1937 г. профессором Коллеж де Франс, я приложил все усилия к тому, чтобы создать в этом учреждении научно-исследовательский центр по ядерной физике и химии. Организовать этот новый центр ядерной физики мне помогли некоторые из моих сотрудников по Институту радия—гг. Савель, Хальбан, Коварский, Намиас, Понтекорво, Злотовский и др., а также заместитель директора Коллеж де Франс Анри Муре и его ученики, в числе которых были гг. Сю и Доде. После изготовления необходимого оборудования мы приступили к сооружению циклотрона на 7 Мэв (для ускорения дейтронов). Нам оказал помощь изобретатель циклотрона Эрнест Лоуренс, прислав одного из своих сотрудников г-на Пакстона, который в течение года работал в моей лаборатории.

С первого же года работники лаборатории опубликовали около 20 работ, что свидетельствовало о зарождавшейся активности лаборатории.

Параллельно я занимался созданием Лаборатории атомного синтеза при Национальном центре научных исследований (CNRS). Я добился приобретения лаборатории Ампера, принадлежавшей Компани генераль электрокерамик. Был построен большой корпус, в котором разместились физическая, химическая и биологическая лаборатории.

После двух с половиной лет работы мы располагали двумя оборудованными лабораториями, в которых большое число сотрудников могло посвятить себя научным исследованиям. Руководимая мной лаборатория атомного синтеза включает в себя отдел биологических исследований с питомником животных. В этой лаборатории еще до войны было организовано тесное сотрудничество групп биологов, физиков и химиков. Именно в Лаборатории атомного синтеза и были предприняты перед войной исследования, касающиеся взрывного деления ядер урана с целью получения источников энергии промышленного значения.

Со времени назначения меня профессором Коллеж де Франс я прочитал 14 оригинальных курсов об излучениях, о строении вещества, о ядерных превращениях и т. д. Правила Коллеж де Франс обязывают профессора ежегодно менять предмет своих лекций.

Между Институтом радия, где продолжала работать Ирен Кюри, и двумя лабораториями, которыми руковожу я, т. е. лабораториями в Коллеж де Франс и в Национальном центре научных исследований, сразу же установилась тесная связь.

1. ДЕЛЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРОНОВ ЯДЕР УРАНА, ТОРИЯ И ИОНИЯ НА ДВА ОСКОЛКА. ЧИСЛО НЕЙТРОНОВ, ИСПУСКАЕМЫХ ПРИ ТАКОМ ДЕЛЕНИИ. ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ. АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Тотчас же после того, как О. Хан и Штрассман дали химическое доказательство деления урана под действием нейтронов, мне удалось дать опытное физическое доказательство взрывного деления ядер урана и тория на два осколка под действием нейтронов. Выделяющаяся при этом энергия, величина которой, как можно было предвидеть, порядка 200 Мэв, расходуется главным образом на отбрасывание с большими скоростями осколков, образующихся при двойном делении. Высокие начальные скорости позволяют осколкам выйти из тонкого слоя окиси урана или тория и пройти в воздухе путь около 3 см. Радиоактивные осколки могут быть, таким образом, собраны на соответствующей подложке и изучены с точки зрения их излучений и химической природы. Опыт дал положительные результаты и показал, что освобождаемая энергия составляет около 200 Мэв на один акт деления на два осколка. К изобретению этого метода меня привело исследование ядер отдачи α -распада (глава 1, § 7). Независимо от меня и почти одновременно Фриш, в Дании, применив, правда, менее объективный метод, дал другое физическое доказательство существования этого явления.

Вводя в камеру Вильсона тонкий слой урана и облучая его медленными нейтронами, я смог впервые сфотографировать след осколка деления и дать таким образом еще более убедительное доказательство существования этого явления. Деление урана на два осколка происходит главным образом под действием тепловых нейтронов.

В первой заметке, посвященной этому явлению, я отметил, что деление на два осколка должно сопровождаться испусканием нейтронов, поскольку в уране содержится избыток нейтронов по сравнению с протонами, превышающий избыток нейтронов в устойчивых элементах, которые образуются в конечном итоге из осколков деления.

В моей лаборатории совместно с гг. Хальбаном и Коварским мне удалось обнаружить испускание этих нейтронов и показать, что при вызываемом тепловыми нейтронами делении ядра урана на два осколка испускается около трех быстрых нейтронов. Мы нашли распределение этих быстрых нейтронов по энергии. Полученный нами результат имел большое значение, так как он позволял надеяться на то, что окажется возможным осуществление взрывных двойных делений, развивающихся в подходящей среде (состоящей из замедлителя нейтронов и урана) в расходящуюся*) цепную реакцию. Можно было надеяться, что таким путем удастся освобождать для практических целей значительные количества энергии, содержащиеся в веществе.

Мы приступили к решению этой проблемы и после того, как нам удалось вызвать затухающие цепные реакции, пришли к положительным заключениям относительно возможности создания расходящихся цепных реакций при использовании в качестве замедлителя элементов, очень слабо поглощающих нейтроны, таких, как, например, тяжелая вода и графит. В урановой среде, представляющей собой окись урана или металлический уран, замедлитель должен быть распределен гетерогенно. Одновременно мы предусмотрели систему управления развитием реакции путем введения поглотителей таких, как кадмий.

Незадолго до поражения Франции в июне 1940 г. нам удалось получить в свое распоряжение мировой запас тяжелой воды, приготовленной в Норвегии, и произвести первое, впрочем, очень неточное, измерение эффективного поперечного сечения захвата тепловых нейтронов дейтерием. Эти исследования были прерваны во Франции в июне 1940 г. и затем возобновлены, с моего согласия, Хальбаном и Коварским в Англии по предварительно разработанным нами планам.

Еще раньше мы получили пять патентов, которые хранились в запечатанных пакетах в Академии наук. Три первых патента были взяты на имя изобретателей Хальбана, Жолио и Коварского, к которым был присоединен Франсис Перрен (критическая масса), и два последних патента, из которых один касался гетерогенности и предельных размеров решетки замедлитель — уран, на имя Хальбана, Коварского и мое.

Тем материалом, который обуславливает развитие цепных реакций под действием тепловых нейтронов, является уран 235 (относительное количество которого в естественном уране составляет 0,007). Он при этом расходуется. Однако я предвидел, что уран 238, дающий негатовый уран 239, который в свою очередь дает другой негатовый элемент, названный нептунием 239, должен давать элемент с массой 239 и с зарядом 94 (плутоний), который в свою очередь может испытывать деление под действием тепловых нейтронов. Этот элемент мог бы в большой степени пополнять потребляемый уран 235.

Один из запечатанных пакетов, поступивший 30 октября 1939 г., был затем вскрыт, и содержание его опубликовано в «Comptes Rendus de l'Academie des Sciences» 7 ноября 1949 г.

Сначала мы предоставили патенты Национальному центру научных исследований, а затем они были переданы Комиссариату по атомной энергии. Окись урана, полученная мною в 1939 г. от Горнорудного объединения «Верхняя Катанга» в количестве около 9 тонн, была использована (еще до моего отозвания с поста Верховного комиссара по атомной энергии в 1950 г.) для постройки первого французского атомного котла, приведенного в действие 15 октября 1948 г.

*) Незатухающую. (Прим. ред.)

Совместно с Ирен Жолио-Кюри мы исследовали методом отдачи деление иония на два осколка под действием нейтронов и определили эффективное сечение этого явления по сравнению с сечением для урана и тория.

2

а) Физический метод извлечения осколков раскалывания на две части (деления)

Мною разработан метод физического отделения осколков от слоев урана, в которых они зарождаются. Приготавлиются поверхности, покрытые очень плотно прилегающим слоем урана, толщина которого примерно равна пробегу осколков в этом веществе. Приготавливают многослойную стопку, прокладывая слои урана листками фильтровальной бумаги. Вся стопка подвергается облучению нейтронами в течение соответствующего времени, и затем из нее вынимаются листки фильтровальной бумаги, в которых содержится около 20% всех образовавшихся осколков. Эти листки промывают и получают раствор продуктов деления, не содержащий урана, что в большой степени облегчает химическое отделение элементов — продуктов деления друг от друга. Таким путем мне удалось определить периоды полураспада радиоэлементов, образующихся при делении, и выявить новый радиоэлемент — празеодим с периодом полураспада 12,7 дня.

б) Измерение пробега радиоактивного осколка данной химической природы

Мною разработан также метод измерения пробега атомов определенного элемента, содержащегося в продуктах деления. Поверх пластинки площадью 10×10 см, покрытой электролитическим осадком урана, накладывается стопка металлических, например алюминиевых, листов, толщиной от 0,5 до 1 мм. Число этих листов таково, что общая толщина по порядку величины определенно больше пробега осколков деления. Все вместе облучается тепловыми нейтронами. Из каждого элемента поверхности урана вылетают осколки деления. С точностью до флуктуации пробега осколки данного элемента будут останавливаться на поверхности полусферы, радиус которой равен пробегу в алюминии. Каждый алюминиевый листок стопки, находящийся на расстоянии, меньшем пробега, будет содержать число радиоактивных осколков, пропорциональное толщине листка.

Это рассуждение справедливо для всех элементов поверхности dS ; можно также увеличить число пластинок, на которые наносится уран, и покрывающих их наслоений из алюминиевых листов. После облучения собирают алюминиевые листки, находящиеся на одинаковом расстоянии от поверхности урана, и в каждой серии этих листов производят химическое отделение радиоэлемента, для которого отыскивается пробег. Для определения пробега путем измерения активности выделенных продуктов в функции расстояния от поверхности урана тех алюминиевых листов, в которых они были задержаны, достаточно, чтобы выходы разделения в каждой серии были одинаковы.

Я применил этот метод к цирконию с периодом полураспада 17 часов и к теллуру с периодом 77 часов и измерил их пробег в алюминии. Сотрудник моей лаборатории г-н Сюзор применил тот же метод для уточнения пробега в алюминии и золоте атомов многих других продуктов деления.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ БИОЛОГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Совместно, вначале с помощником директора химического отделения моей лаборатории в Коллеж де Франс г. Сю и биологом г. Леблонном (ныне профессор в Канаде), я предпринял опыты по изучению обмена иода в организме. Затем, применяя радиоиод с периодом полураспада 25 минут, мы, совместно с гг. Фейелем и Сю, изучили проницаемость стенок красных кровяных телец по отношению к некоторым ионам, например ионам иода NaI . Одна из этих работ была опубликована, с моего согласия, гг. Сю и Леблонном, другая, — гг. Сю и Фейелем.

Исследования, касающиеся обмена иода и особенно функции щитовидной железы, были вновь и более детально проведены профессором Коллеж де Франс эндокринологом г. Робером Курье, г. Пьером Сю, химиком-органиком г. А. Оро и мною. В результате этих исследований были получены существенные результаты, касающиеся роли иода и механизма образования тироксина и диiodотирозина. Эти последние вещества удалось приготовить, вводя в них радиоактивный иод с периодом полураспада в 8 дней. При впрыскивании тироксина он проникает одновременно в щитовидную железу и в гипофиз, и этим двояким проникновением можно объяснить прекращение деятельности железы под действием соответствующего гормона. Меченый тироксин, впрыскиваемый беременной крольчихе, не проходит сквозь поверхность плаценты, а ионы иода сквозь нее проходят. Железа иногда сама вырабатывает тироксин при помощи ионов иода, которые проникают сквозь плацентарную перегородку. Мне нет надобности подробно останавливаться на всех результатах этих исследований, поскольку они описываются в работах, приведенных в общем списке в начале заметки*).

Нам с г-ном Лакассанем, директором Пастеровского отделения (предназначенного для исследования и лечения рака) в Институте радия, удалось вызвать рак печени у кролика, облучая его нейтронами.

Вообще эти исследования в области биологии нам показали, насколько необходимо тесное сотрудничество исследователей различных специальностей, дополняющих друг друга. Речь идет не о том, что физик должен давать советы по поводу того или иного физического метода измерения, а о том, что он должен эффективно разрабатывать биологическую тему, не претендуя на компетентность в этой области, но ставя перед собой цель внести свои особые формы мышления, которые могли бы эффективным образом дополнить основные идеи биолога.

4. ОСНОВНАЯ РАБОТА С СЕНТЯБРЯ 1944 г. ПО ДЕКАБРЬ 1954 г.

Сразу после освобождения Парижа, в августе 1944 г., я был назначен директором Национального центра научных исследований и до января 1946 г. почти целиком посвящал себя реорганизации и развитию этого учреждения (создание Института ядерных исследований в Страсбурге и т. п.).

В конце 1945 г. я предложил правительству возобновить и развить во Франции исследовательские и проектные работы, которые мы вынуждены были прервать в июне 1940 г. Таким образом, был создан Комиссариат по атомной энергии под руководством верховного комиссара и генерального администратора. На этот последний пост был назначен г-н Рауль Дотри, бывший в то время министром реконструкции, я же был назначен

*) Список трудов напечатан в конце сборника, цитированного на стр. 17.

верховным комиссаром. Г-н Рауль Дотри, бывший в начале 1940 г. министром вооружения, помог нам получить в свое распоряжение мировой запас тяжелой воды, находившийся тогда в Норвегии, и обладание этим очень ценным продуктом позволило нам незадолго до перемирия провести первый опыт, обнадеживающие результаты которого показали возможность освобождения атомной энергии для промышленных целей. Вместе с комиссарами по атомной энергии — с Ирен Жолио-Кюри, Франсисом Перреном, Пьером Оже, представителем Министерства национальной обороны генералом Дассо и генеральным секретарем Данивелл нам удалось заложить основы первых достижений. Мы пользовались ценной помощью многочисленных ученых, в том числе Коварского, Гольдшмидта и Герона, которые принимали участие в англо-канадских исследованиях и предприятиях, связанных с проблемами атомной энергии. Я не в состоянии перечислить здесь всех пионеров этих начинаний.

Вместе с новыми сотрудниками в эту работу включились многие исследователи из лабораторий Института радия и моих лабораторий.

Все мы были охвачены большим энтузиазмом, и через два года на станции Шатийон, бывшем военном форте, был пущен в действие первый атомный котел «ЗОЭ». В окрестностях Парижа, в Сакле, была начата постройка большого центра ядерных исследований, где предполагалось установить циклотрон весом 280 тонн, ускоритель Ван де Граафа на 5 млн. электрон-вольт и второй котел мощностью около 1000 *квт*. По приказу правительства я был отстранен от этой интересной работы в мае 1950 г., а Ирен Жолио-Кюри — в 1951 г.

С сентября 1944 г. до мая 1950 г. я продолжал чтение лекций в Коллеж де Франс.

Кроме того, в течение этого периода мне пришлось принимать участие — в качестве члена — в работе сначала Временной консультативной ассамблеи, а затем Экономического совета, в ЮНЕСКО, а также в различных министерских комиссиях. В 1946 г. я принимал участие в работах Комиссии по атомной энергии Организации Объединенных Наций в качестве заместителя делегата от Франции.

Лишь с 1951 г. я смог вновь полностью взять на себя руководство Лабораторией ядерной физики и химии в Коллеж де Франс и Лабораторией атомного синтеза в Национальном центре научных исследований.

Несмотря на многочисленные трудности, встречающиеся при получении средств, необходимых для содержания персонала и на оборудование, в моих лабораториях работает около 40 квалифицированных исследователей, большинство которых является докторами наук.

Результаты, полученные в этих двух лабораториях, представляют собой большой вклад во французскую ядерную физику и химию.