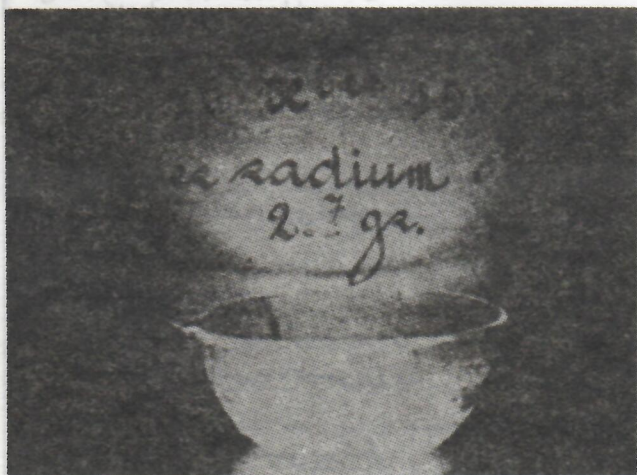


رساله دکترای ماری کوری پیش درآمدی بر جایزه نوبل

رابرت ولکه

(قسمت اول)



شکل ۱. تصویری از $\text{RaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ که با نور صادره از خود ماده در ۱۵ اکتبر ۱۹۲۲ گرفته شده است. نوشته بیان می کند که این نمونه «نخستین رادیم به دست آمده» توسط کارخانه اولن در بلژیک است.

به عنوان نتیجه برجسته کار علمی کوری قلمداد شود، اهمیت سهم وی در درک پدیده پرتوزایی نادیده انگاشته شده است. پدیده‌ای که در اوایل قرن حاضر راز بود و تصویری که مردم از شرارت آن داشتند درست مثل این بود که ما امروزه به طور ناگهانی شواهدی دال بر زنده بودن اتمها به دست آوریم. جایزه نوبل ۱۹۰۳ فیزیک را به دلیل پژوهشی که درباره پرتوزایی انجام داد (به اشتراک) دریافت کرد و نه به علت کشف رادیم و پولونیم.

چندی بعد در سال ۱۹۱۱ (شکل ۲) بود که دومین جایزه نوبل در شیمی را، به افتخار کشف این دو عنصر، به او اهدا کردند. اما این بار نیز بیشتر به دلیل فائق آمدن بر مشکلات غیر قابل تصور در پژوهش بود که از وی قدر دانی شد تا عمل ساده اکتشاف.

مقاله حاضر گزارشی انتقادی درباره مهمترین بخش از کار علمی ماری اسلودسکا کوری است و به این امید ارائه شده است که ماری کوری را بیشتر به دلایل «درست» در خاطرها زنده نگاه دارد. این مقاله همچنین اطلاعات جدیدی درباره روشها و نتایج کار وی دربر دارد.

رساله دکترای ماری کوری خلاصه کاملی از مهمترین کارهای

در سالهای نخستین قرن بیستم موادی تازه و عجیب به جهان عرضه شد. جالب آنکه یابنده آن یک زن بود، خانم ماری اسلودسکا کوری و این هر دو برای عامه مردم تازگی فوق العاده‌ای داشت.

کوری به عنوان اولین زن تاریخ که در جهت پیشرفت علم خدمات ارزنده‌ای ارائه داد از همه همکاران مرد خود چهره‌ای محبوبتر یافت. رادیم «او» ماده‌ای که در تاریکی می درخشید، پیوسته فعال می ماند، بدون احساس گرما گوشت انسان را می سوزاند و از درون پرتوهای مرموز صادر می کرد؛ و این همه بازیچه نو و شگفت آوری می نمود که همراه با آخرین اخبار روز ورد زبانها بود.

آمریکاییها نه تنها از طریق رادبو، روزنامه‌ها، فیلمهای خبری و کتاب، بلکه با شرکت فعال در تأمین هزینه خرید دو گرم رادیم برای ادامه کارهای پژوهشی وی با شخصیت کوری آشنا شدند. «خانم رادیم» طی دوسفری که در سالهای ۱۹۲۱ و ۱۹۲۹ به ایالات متحده کرد، این هدایا را که بیشتر از سوی زنان آمریکایی بود صمیمانه پذیرفت. منابع خبری نیز از این نکته طنز آمیز غافل نماندند که کاشف رادیم در دو دهه بعد خود قدرت خرید «عنصر خود» را نداشت. در آن دوران هر گرم رادیم به قیمت ۷۰ تا ۱۰۰ هزار دلار به فروش می رسید (شکل ۱).

اما تبدیل یک چهره تاریخی به یک قهرمان افسانه‌ای موجب می شود که وی به دلایل نیمه درست در خاطرها زنده بماند. به عنوان مثال آیا شما کسی را می شناسید که نشنیده باشد ماری کوری صرفاً به عنوان «کاشف رادیم» معروف شده است؟

البته این موضوع واقعیت داود که کشف عناصر جدید در شیمی همواره از جمله رویدادهایی بوده است که به آسانی قابل تشخیص اند؛ از زمان مندلیف تا کنون تنها حدود بیست عنصر شناخته شده است و افزایش این تعداد حداقل در مورد عناصری که پرتوزا نیستند، غیر محتمل به نظر می رسد. علاوه بر این جای هیچ شک و شبهه‌ای نیست که ماری کوری جهت شناسایی و جداسازی عنصر جدید رادیم به شکل خالص خود، مهارت بسیار زیادی به خرج داد. خود وی چنان تحت تأثیر نتیجه کار قرار گرفته بود که در خلاصه نتیجه گیریهای رساله دکترای خود تنها جمله‌ای که به صورت ایتالیک نوشت این بود: «این کار ثابت کرد که رادیم یک عنصر شیمیایی جدید است.» با همه اینها اگر شناسایی و کشف حتی دو عنصر (رادیم و پولونیم)



شکل ۲. ماری کوری در ۱۹۱۱، لحظاتی پس از دریافت جایزه نوبل.

Série A. n° 445
N° d'ordre
1127.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR

M^{me} SKŁODOWSKA CURIE.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LES SUBSTANCES RADIO-ACTIVES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 27 juin 1903, devant la Commission d'Examen.

M. LIPPMANN, Président.
BOUTY, } Examineurs.
MOISSAN, }

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1903

شکل ۳. صفحه عنوان رساله دکترای ماری کوری.

پژوهشی وی را در بر می گیرد. این رساله برداشت غریب چهره‌ای علمی و محوری است که دقایقی از تحقیق دست می کشید تا در يك لحظه بحرانی تاریخ به آفرینش عکسی فوری از واقعه‌ای پردازد که در حال تغییر سریع بود.

در ماه مه ۱۹۰۳ که این رساله به چاپ رسید، تنه‌ایافته مهمی که کوری با اطمینان ادعای آن را داشت، کشف عنصری جدید «با خواص بسیار عجیب» بود. به دلیل همین کشف بود که او موقعیت آکادمی شایسته خود را به دست آورد. اما وی در مقدمه رساله خود این ادعا را نیز مطرح می کند: «يك روش پژوهش شیمیایی جدید... براساس در نظر گرفتن پرتوزایی به عنوان يك خاصیت اتمی...» این روش امروزه به نام روش پرتوشیمی معروف است و چند سال بعد برای روشن ساختن فرایند شکافت هسته‌ای به خوبی مورد استفاده قرار گرفت و علاوه بر آن این روش اساس تمام فنون ردیابی پرتوزایی را تشکیل می دهد.

این رساله (شکل ۳) تحت عنوان «مواد پرتوزا» ابتدا در ۱۱ مه ۱۹۰۳ توسط پل آپل رئیس دانشکده علوم پاریس به دقت بررسی و تأیید شد. در همان تاریخ توسط لویی لیارد معاون آکادمی پاریس برای چاپ پذیرفته شد. (انسان و سوسه می شود پیش خود قیافه نامزد دکتر را در حالی که برای گرفتن امضاهای لازم از این اتاق به آن اتاق می رود مجسم کند.) دفاع رسمی در ۱۲ ژوئن ۱۹۰۳ در مقابل کمیته داوری به ریاست گابریل لییمان، استاد افتخاری فیزیک (برنده جایزه نوبل ۱۹۰۸) و عضویت افرادی چون بوتی، استاد افتخاری فیزیک، هنری مواسان، استاد شیمی (برنده جایزه نوبل شیمی در ۱۹۰۶)، برگزار شد.

مرجع مورد استفاده برای تدوین این مقاله تصویری از رساله اصلی به زبان فرانسه بود که از کتابخانه دانشگاه درمارسی فرانسه به دست آمد. ترجمه انگلیسی آن (مترجم ناشناس) بدون پانوشتها در ۱۹۰۳ در *Chemical News*, London, Vol. 88, p.85 به چاپ رسید و در سالهای بعد بارها تجدید چاپ شد. چاپ اصلی *Chemical News* به صورت رونوشت چاپی (کپی) که به طور جداگانه صحافی شده است*، هنوز در برخی از کتابخانه‌های آمریکا یافت می شود. در هر حال تمام نقل قولها در مقاله حاضر ترجمه‌های مؤلف از متن اصلی فرانسه است و این امکان وجود دارد که از بعضی جهات با ترجمه *Chemical News* و چاپهای بعدی آن متفاوت باشد.

این رساله دارای يك «مقدمه»، «تاریخچه»، چهار فصل در شرح پژوهش، دیدگاه مختصر پژوهشگر در باره ماهیت و علت پرتوزایی و خلاصه‌ای از نتیجه گیریهای اوست. در مقاله حاضر تنها «مقدمه»، «تاریخچه» و دو فصل پژوهشی مورد بحث قرار می گیرد. این دو فصل در برگیرنده بخشهای شیمیایی کار است که به معنای وسیع کلمه از بخشهای فیزیکی کار جدا می شوند. عنوانهای فرعی (ترجمه شده) این فصلها به این ترتیب اند:

فصل ۱: پرتوزایی اورانیم و توریم، مواد پرتوزا. پرتوزایی

* ممکن است به دلایل ایمنی چنین رونوشتهایی را از نظر پرتوزایی مورد آزمایش قرار داد. چون قبل از اینکه خطرات پرتوزایی به طور کامل درک شده باشد، دانشمندان این رونوشتها را قرض می کردند و به درون آزمایشگاههای آلوده خود منتقل می کردند.

اورانیم و توریم؛ مواد پرتوزا؛ پرتوهای بکرل؛ اندازه گیری شدت تابش؛ پرتوزایی ترکیبات اورانیم و توریم؛ آیا پدیده پرتوزایی یک پدیده عمومی است؟؛ کانیهای پرتوزا.

فصل ۲: روش پژوهش. پولونیم، رادیم، اکتینیم، طیف رادیم، استخراج مواد پرتوزای جدید؛ تهیه رادیم کلرید خالص؛ تعیین وزن اتمی رادیم؛ مشخصات نمکهای رادیم؛ جزء به جزء کردن باریم کلرید معمولی.

زمینه های علمی

سالهای بین ۱۹۰۲-۱۸۹۸ را که ماری کوری مشغول پژوهش بود همزمان بادوران تغییرات سریع و چشمگیر در عالم شیمی و فیزیک می دانند.

ویلهم رونتگن وقتی در دسامبر ۱۸۹۵ در وورتسبورگ اعلام کرد پرتوهای مرموزی کشف کرده است که می تواند در فلز جامد نفوذ کرده، تصاویری از استخوانهای دست انسان زنده تولید کند، در عالم شیمی و خارج از آن همچنان شگرفی به پا کرد. چون پرتوهای رونتگن از نقاط فلئوئورسان موجود در لوله های کروکس شیشه ای صادر می شدند (اکنون می دانیم که این نقاط توسط بمباران الکترونی برانگیخته می شدند). هنری پوانکاره در ۲۵ ژانویه ۱۸۹۶ به آکادمی علوم فرانسه پیشنهاد کرد که سایر مواد درخشان نیز ممکن است پرتوهای مشابهی نشر کنند.

هنری بکرل در بین سایرین، جستجو برای نشر پرتوهای نفوذی از مواد گوناگونی را که در معرض آفتاب درخشان می شدند آغاز کرد. اما در عوض وی متوجه شد که پتاسیم اورانیل سولفات و سایر نمکهای اورانیم، چه در معرض نور قرار گیرند یا نگیرند، پرتو نفوذی نشر می کنند. خوشبختانه بکرل این پرتوهای شبه X را با Y یا Z نامگذاری نکرد. آنها بانام «پرتوهای بکرل» یا «پرتوهای اورانیم» معروف شدند و راه برای رادرفورد بازماند تا بعدها این پرتوها را بر حسب توانایی نفوذشان به «آلفا»، «بتا» و «گاما» تقسیم بندی کند.

جای تعجب است که طی سالهای ۱۸۹۸-۱۸۹۶ کار اندکی درباره پرتوهای اورانیم انجام گرفت. در این دوره گزارشهای مربوط به پرتوهای جدید، امواج تابشها، چه واقعی و چه موهومی، چنان زیاد شده بود که به نظر می رسید تجربه بکرل در این میان گم شده باشد. درباره پرتوهای با قابلیت نفوذ گوناگون (یعنی پرتوهای که می توانستند از سدهای مات عبور کنند و یک صفحه عکاسی را متأثر سازند) گزارش می شد که از بسیاری مواد لومینسان و از منابع بسیار گوناگون چون گرم شب تاب و سطوح فلزی تازه پاک شده، صادر می شوند.

جستجو برای آن منبع انرژی که به اعتقاد عامه باید جذب شده باشد تا دوباره نشر گردد، بخش عمده تلاش جهت درک پرتوهای اورانیم را تشکیل می داد. در غیر این صورت انرژی از کجا می توانست آمده باشد. قانون بقای انرژی بیش از ۵۰ سال اساس علوم فیزیکی را تشکیل می داد و در شرف کنار رفتن نبود. وقتی بکرل به این نتیجه رسید که این پرتوها از خود اتمهای اورانیم صادر می شوند، تنها موجب تقویت تفکر فسفر سانس شد. چون اگر اتمها، آن گونه که مردم حدود یک قرن باور داشتند، غیر قابل تغییر

بودند، تابشهای پر انرژی نمی توانستند ناشی از تغییرات درون خود اتمها باشند. انرژی می بایستی قبلاً توسط برخی منابع خارجی در اتمها ذخیره شده باشد.

وقتی بکرل کشف کرد که قرار گرفتن در معرض آفتاب مرحله مقدماتی غیر لازمی برای نشر تابش اورانیم بود، هنوز این باور را داشت که این پدیده می بایستی نوعی فسفر سانس ویژه و پاینده باشد و اورانیم در گذشته به طریقی نامشخص در «معرض» قرار گرفته باشد. ولی کوری و سایرین همچنان به فرضیه فلئوئورسانس پایبند بودند؛ یعنی منبعی نامشخص اما همزمان و پیوسته از انرژی برانگیزش وجود داشت. با وجود این ماری کوری رساله خود را با اشاره بر «فسفر سانس اورانیم، کشف بکرل» آغاز کرد.

نکته طنز آمیز این است که بکرل، کاشف پرتوزایی و مدافع فرضیه فسفر سانس (که می رفت تا فرضیه اش بی اعتبار شود) در نهایت از جهتی حق داشت. امروزه می دانیم که انرژی صادر شده از عناصر پرتوزای پاینده مانند اورانیم، در واقع در گذشته ای دور در آنها ذخیره شده است؛ یعنی در حدود ۲۵ بیلیون سال پیش وقتی اتمهای آنها در فرایندهای نوکلئوتیک تشکیل می شدند. این فرایندها در پی «انفجار بزرگ» انجام گرفتند. انرژی در آنها ذخیره شد اما نه به شکل تابش برانگیزش جذب شده بلکه به شکل جرم که امروزه به صورت تابش ذره ای و الکترومغناطیسی دوباره نشر می یابد. در این صورت به درستی می توان گفت که پرتوزایی، فسفر سانس نهایی است: این پدیده مقداری از انرژی اولیه جهان را به ما پس می دهد.

شرح تاریخی وقایع

کار رساله که توسط ماری کوری و همکارانش انجام گرفت، در ۱۶ دسامبر ۱۸۹۷ شروع شد و به ترتیب زمانی زیر به وقوع پیوست (ماههای ذکر شده، زمان ارائه اولین گزارش چه به صورت چاپ شده و چه به صورت پیشنهادی به یک آکادمی علمی است).

۱۸۹۵ - (دسامبر) رونتگن پرتوهای X را کشف می کند.

۱۸۹۶ - (فوریه) بکرل تابشهای نفوذی از نمکهای اورانیم لومینسان را کشف می کند.

- (مارس) بکرل گزارش می کند که برای تولید

پرتوهای اورانیم در معرض آفتاب قرار گرفتن

نمکها امری ضروری نیست.

- (مه) بکرل گزارش می کند که پرتوها از عنصر

اورانیم صرف نظر از نوع ترکیب صادر می شوند.

۱۸۹۷ - (دسامبر) ماری کوری کوری تابشهای بکرل را

آغاز می کند.

۱۸۹۸ - (فوریه) اشعیت پرتوزایی توریم را کشف می کند.

- (آوریل) ماری کوری بطور مستقل پرتوزایی

توریم را کشف می کند.

- (ژوئیه) ماری کوری پرتوهای یوتیم را کشف و

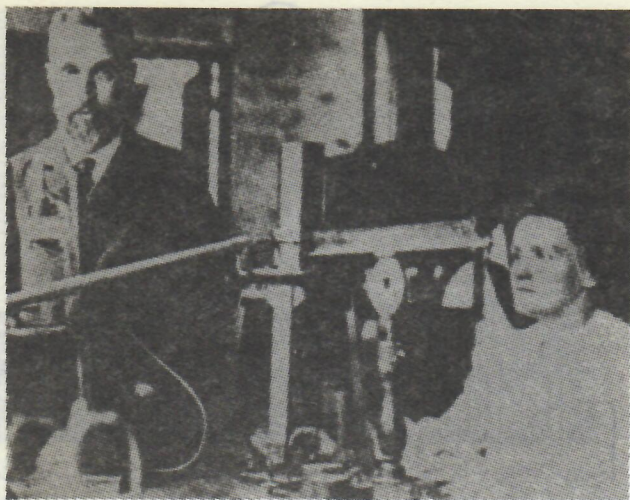
واژه کلی «پرتوزایی» را اکتیو می کند.

- (نوامبر) ماری کوری و بکرل کشف رادیم

را اعلام می کنند.

۱۸۹۹ - (ژوئن) ماری کوری و بکرل کشف رادیم

را اعلام می کنند.



شکل ۴. ماری و بی‌یر کوری در آزمایشگاه خود در ۱۸۹۸.

علمی که تا آن زمان انجام گرفته بود می‌گردید. کوری در رساله خود می‌نویسد «اولین لوله‌های مورد استفاده برای تولید پرتوهای رونتگن فاقد آندهای فلزی بودند. بدین ترتیب منبع پرتوهای رونتگن جداره‌های شیشه‌ای بودند که در معرض برخورد پرتوهای کاتدی قرار می‌گرفتند؛ جداره‌ها در همان زمان و به‌طور فعال لومینسان می‌شدند». بنا بر این، ماری کوری در واقع رابطه مشاهده شده بین لومینسانس و نشر تابش نفوذی را بیان می‌کرد؛ تابشی که مانند پرتوهای X و پرتوهای بکرل می‌توانست از کاغذ سیاه عبور کند و بازهم فیلم عکسی را متأثر سازد.

کوری در رساله خود، به گزارش‌هایی چون تابش‌های صادره از روی سولفید و کلسیم سولفید اشاره می‌کند؛ اما از آنجا که این مشاهدات «با وجود کوشش‌های فراوانی که انجام گرفت تکرارپذیر نبودند» و آنها را با عنوان اثبات نشده، کنار می‌گذارد. در آن زمان مواد شیمیایی بسیاری (و حتی حشرات نورافشان) روی فیلم‌های عکسی پوشیده از کاغذ قرار می‌گرفتند و برای نوردهی طولانی در آنجا رها می‌شدند؛ انجام این تجربه، ساده و وسوسه‌انگیز بود و نتایج مثبت غلط بسیاری گزارش می‌شد. به احتمال زیاد، عواملی چون رطوبت نمونه، فشار یا بخارهایی مثل سولفیدها یا آمونیاک موجود در اتمسفر آزمایشگاه، برخی از صفحات را متأثر می‌ساخت و تصاویر مبهمی ایجاد می‌کرد. با همه اینها، نفوذ در یک صفحه کاغذ سیاه یا غیر آن، بخش مهمی از واقعیت نبود.

کوری گزارش‌های گوناگون نامعتبر مربوط به تابش‌های نفوذی جدید را کنار گذاشت و آن‌گاه به توصیف مشاهدات بکرل که در سطحی گسترده تأیید شده بود پرداخت. بر اساس این مشاهدات اورانیم چه به صورت یک عنصر یا در ترکیب و چه به اشکال لومینسانس یا غیر آن واقعاً تابش‌های نفوذی نشر می‌کرد و اورانیم عنصری، از این لحاظ فعالتر از هریک از ترکیب‌های آن بود. از طرف دیگر او خاطر نشان کرد که سایرین موفق به تأیید گزارش بکرل در مورد توانایی انعکاس، شکست و قطبیدن پرتوهای اورانیم نشده بودند. در واقع مشاهده احتمالی این اثرها توسط بکرل اشتباه بوده است. در پی ارائه این زمینه، ماری کوری به تشریح کار خود در رساله می‌پردازد.

۱۹۰۲ – (مارس) ماری کوری ۱۲۰ mg رادیم کلرید را جدا سازی می‌کند که از نظر طیف بینی فاقد باریم است.

– (ژوئیه) ماری کوری وزن اتمی رادیم را گزارش می‌کند.

– (ژوئیه) رادرفورد و سادی این فرضیه را گزارش می‌کنند که «پرتوزایی، نمایی از تغییرات شیمیایی زیر اتمی است» و در واقع تبدیل خود به خود اتمهای یک عنصر به اتمهای عناصر دیگر است.

۱۹۰۳ – (ژوئن) ماری کوری به دریافت دکترای در علوم نایل می‌شود.

– (دسامبر) ماری کوری، پی‌یر کوری و بکرل به دلیل کارشان بر روی پرتوزایی، به‌طور مشترک سومین جایزه نوبل در فیزیک را از آن خود می‌کنند.

۱۹۱۱ – ماری کوری به دلیل کار بر روی رادیم و پولونیم به دریافت جایزه نوبل در شیمی مفتخر می‌شود.

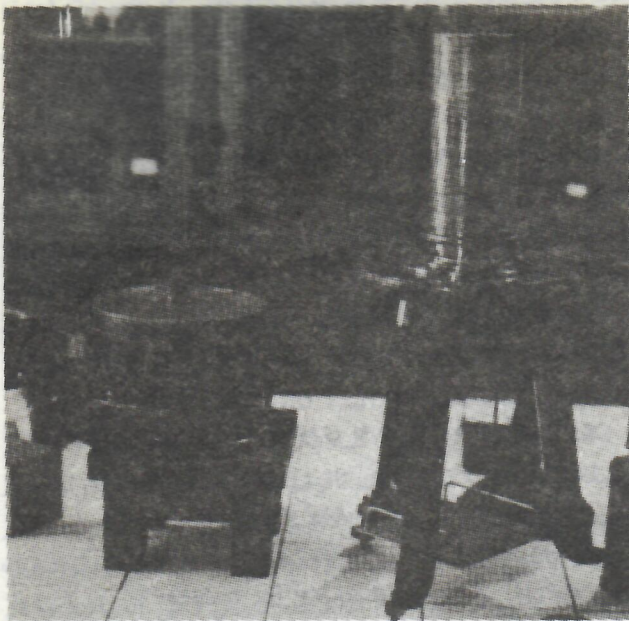
رساله «مقدمه و تاریخچه»

ماری کوری کار خود را به منظور مطالعه پدیده‌ای در اورانیم که بعدها آن را «پرتوزایی» نامید آغاز کرد. وقتی شواهدی پیدا کرد که مواد پرتوزای دیگری نیز وجود دارند، «استخراج مسود پرتوزای جدید و ادامه بررسی آنها» هدفهای او را تشکیل دادند. در این مسیر از همکاری همسر فیزیکدان خود پی‌یر که کار در جریان خود را کنار گذاشت تا به او بپیوندد نیز برخوردار بود (شکل ۴).

در آن دوره نتایج کار پژوهشگران گوناگون فرانسوی و خارجی لزوماً مغشوش بود. البته این اغتشاش را می‌توان در تمام کارهای جدیدی که در مسیر پیشرفت خود هستند ملاحظه کرد. بنا به قول کوری مسئله پرتوزایی گویی روز به روز تغییر می‌کرد.

بسیاری از انواع جدید پرتوها یا تابش‌های نفوذی مرسوم گزارش می‌شدند. نشر یا نشر احتمالی آنها تقریباً بدون استثنا به لومینسانس برانگیخته شده نسبت داده می‌شد. لومینسانس تنها پدیده نشر تابشی (یعنی نور) بود که در آن زمان درک هر چند ناقصی از آن وجود داشت. اینکه انرژی اولیه یعنی انرژی خورشید به طریقی توسط مواد پرتوزا جذب شده بود و به صورت دیگری از تابش دوباره نشر می‌یافت، به سادگی پذیرفته می‌شد. با همه اینها، خورشید منبع غایی تمام شکل‌های انرژی روی زمین بود، چه گذرا به صورت گرما و نور و چه ذخیره شده به شکل سوخت‌های فسیلی.

اما در پدیده پرتوزایی بکرل، بشر نادانسته و برای اولین بار یک منبع انرژی غیر خورشیدی را که ناشی از ناپایداری هسته اتمی بود تجربه می‌کرد. آنها با توجه این پدیده به گونه‌ای مستقل از تحریک خورشید و در عین حال بدون کنار گذاشتن نظریه بقای انرژی مواجه بودند. توانایی خانواده کوری و معاصران ایشان در جمع‌بندی توضیحات عملی پدیده پرتوزایی که حدود یک دهه قبل از کشف هسته اتمی انجام گرفت در برگیرنده خلاقترین استدلالها و تجربیات



شکل ۶. محفظه یونش کوری (چپ) و بلور کوآرتز پیزوالکتریک (راست) به همان صورتی که امروزه در مؤسسه رادیم پاریس نگهداری می شوند.

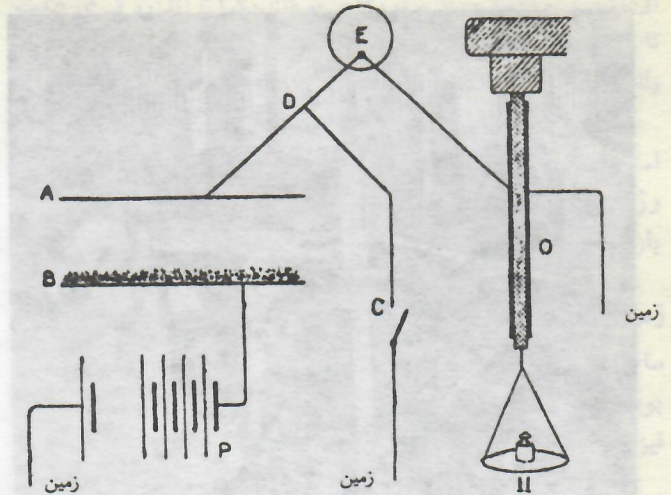
را با افزودن وزنه‌هایی تحت تنش قرار می دادند تا اینکه برق سنج قابی جریان صفری را در مدار نشان دهد. بنابراین مقدار وزن لازم برای مقابله با جریان یونش، اندازه‌ای از بزرگی آن جریان بود و احتمالاً اندازه‌ای از «مقدار پرتوزایی» (شکل‌های ۵ و ۶ را ببینید).

جریانی که از هوای درون محفظه یونش آنها (محفظه‌ای که پی‌یر و ماری کوری بدین منظور ابداع کرده بودند) عبور می کرد به اندازه ۱۱-۱۰ آمپر بود. این مقدار جریان مربوط به شرایطی بود که تمام یونهای ایجاد شده توسط تابش روی صفحات جمع‌آوری شده بودند. آنها این جریان اشباع را به عنوان اندازه شدت تابش که احتمالاً بامیزان یونش هوا متناسب بود پذیرفتند. (همبستگی بین جریان اشباع و شدت پرتوهای یون کننده که از یک گاز عبور می کنند قبلاً در سال ۱۸۹۶ توسط تامسون و رادرفورد مشخص شده بود، هر چند خانواده کوری از آن بی اطلاع بودند).

از آنجا که جریانهای بسیار کوچکی مورد اندازه گیری قرار می گرفتند، عایق‌های موجود در محفظه یونش باید به دقت طراحی و محافظت می شدند تا از نشست سطحی جلوگیری کنند. به دلیل تکنیک بسیار دقیق کوری بود که طی دوره‌ای پنج ساله و در شرایط آزمایشگاهی بسیار ابتدایی، با استفاده از این دستگاه نتایج سازگاری به دست آمد. در شکل‌های ۷ و ۸ تصویرانی از واقع در پس کوچه‌ای آمده است که در آنجا این کارها انجام گرفت. در مقابل، شکل‌های ۹ و ۱۰ مؤسسه پژوهشی را نشان می دهند که بعدها برای ادامه کار کوری ساخته شد.

چه مقدار فعالیت بیش از حد حساب می آید؟

چون ماری کوری تنش پرتوزایی (که یک خاصیت اتمی به حساب می آید) به نوع ویژه‌ای از ماده و استخوان کردن سایر مواد را بسیار غیر محتمل یافت، با گذشتن مواد بسیار گوناگون در محفظه



شکل ۵. نمودار دستگاه اندازه گیری پرتوزایی از رساله. محفظه یونش در سمت چپ و بلور کوآرتز تحت تنش در سمت راست ترسیم شده است. با شکل ۶ مقایسه کنید.

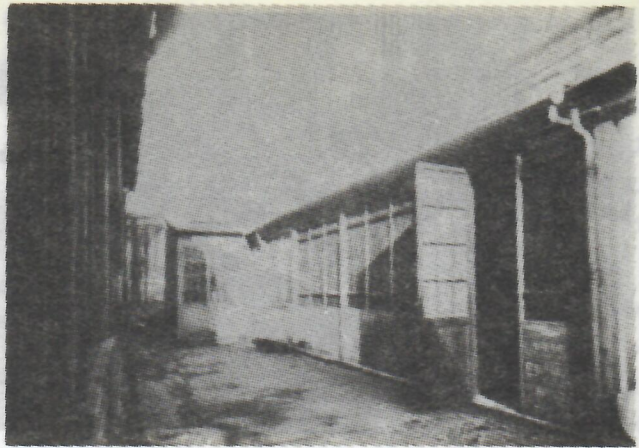
رساله: «فصل ۱، پرتوزایی اورانیم و توریم. مواد پرتوزا»

اندازه گیری پرتوزایی

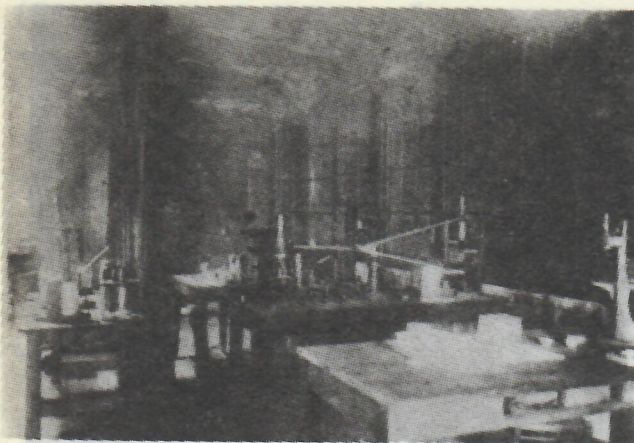
از آنجا که رادرفورد و سایرین دریافته بودند که پرتوهای اورانیم بکول بر گازها اثر می کنند و آنها را به رساناهای ضعیف الکتریسیته تبدیل می سازند، کوری بر آن شده که شدت تابش را با توجه به «اثر آن بر رسانایی هوا» اندازه گیری کند. بدین منظور وی یک اندازه گیری دقیق الکتریکی را جایگزین روشهای خامی کرد که تا آن هنگام برای تشخیص تابشهای نفوذی به کار می رفت. این روشها عبارت بودند از زمان لازم برای تخلیه یک الکتروسکوپ یا نوردهی به یک فیلم عکاسی.

با استفاده از وسیله‌ای که در اصل توسط همکار فیزیکدانش پی‌یر طراحی شده بود، اولین اندازه گیریهای کمی تکرار پذیر از شدت پرتوزایی را انجام داد. بدون این ابداع بزرگ، پیشرفت قابل توجه در هر یک از دو زمینه زیر در این دوره زمانی غیر ممکن می شد: (۱) ردیابی همجوشی گونه‌های پرتوزای تازه کشف شده (راديو ایزوتوپها) از طریق تغییرات شیمیایی گوناگون و بدین وسیله تعیین مشخصات عنصری آنها، (۲) توصیف خود تابشها. این دو بررسی و نتایج حاصل از آن یعنی درک تبدیل اتمی از طریق پرتوزایی، از نظر اهمیت، کشف عناصر جدید اکتینیم، پولونیم و رادیم را تحت الشعاع بسیار قرار داد.

آشکارساز تابش کوری از یک جفت صفحه فلزی مدور افقی و موازی تشکیل شده بود که گرد نمونه پرتوزا به طور یکنواخت روی سطح صفحه پایینی پخش می شد. وقتی یک اختلاف پتانسیل بین صفحات برقرار می گشت و مدار کامل می شد، جریان الکتریکی کوچکی از طریق هوای یونیده شده توسط تابش، بین این صفحات برقرار می گشت. ولتاژ حاصل از یک بلور پیزو الکتریک تحت تنش با این جریان مقابله می کرد یا آن را متوقف می ساخت. این وسیله به گونه‌ای در مدار قرار گرفته بود که با جریان یونش در تقابل باشد. پی‌یر کوری خود اثر پیزوالکتریک را در سال ۱۸۸۳ کشف کرده بود و در نتیجه آمادگی کامل داشت تا به فکر استفاده از آن در این مسیر بیفتد. اندازه گیری بدین ترتیب انجام می شد که بلور



شکل ۷. انبار در خیابان لوموند پاریس، جایی که کار مربوط به رادیم و پولونیم انجام گرفت.



شکل ۸. فضای داخلی انبار شکل ۷. در این تصویر محفظه یونش و برق سنج قابی نشان داده شده است. با این وسایل خانواده کوری اندازه گیریهای کمی پرتوزایی را انجام می دادند.

بامقدار اورانیم نمونه باشد، زیرا بکرل نشان داده بود که پرتوزایی يك خاصیت اتمی متعلق به خود اورانیم است. بنابراین جای تعجب است که وی درباره وجود یا عدم چنین تناسبی در جدول داده های خود هیچ گونه نظری نداد و راضی شد که بدون آوردن شواهد، تعمیم بعدی را با عبارت زیر ارائه دهد: «ترکیبهای شیمیایی حاوی اورانیم یا توریم، متناسب بامقدار فلزی که دارند فعال اند و تمام مواد غیرفعال به عنوان يك جاذب بی اثر تابش عمل می کنند».

امروزه داده های جدول بندی شده را نمی توان با دقت زیاد تفسیر کرد زیرا اسامی ارائه شده در رساله برای برخی از مواد مبهم اند: مثل «اورانیک اسید آبپوشیده، مس اورانیل فسفات و غیره» و درجه خلوص آنها نامعین است. اما چون اورانیم در مقایسه با سایر عناصر موجود در ترکیبها، بسیار سنگینتر است، مقدار تقریبی اورانیم را می توان بدون دانستن فرمول دقیق و با دقت خوبی تخمین زد و بدین ترتیب می توان نسبت تقریبی فعالیت به مقدار اورانیم را محاسبه کرد.

من چنین محاسباتی را انجام دادم و در بین شش ترکیبی که با اطمینان معقولی قابل شناسایی بودند و خود فلز اورانیم، سازگاری تقریبی با انحراف متوسط ۱۰ تا ۱۵٪ مشاهده کردم. به احتمال زیاد تناسب از این ۱۰ تا ۱۵٪ (به علت اثرهای پراکندگی و جذب ذره آلفا در نمونه های با ترکیب متغیر) چندان بهتر نبود.

با وجود این، در مورد يك نمونه که نام فرمول آن را کوری «اورانیم اکسید سیاه، U_2O_5 » بیان کرده بود، نسبت فعالیت به مقدار اورانیم حدود ۴۰٪ بیشتر از متوسط سایرین بود و در حقیقت ۱۰ تا ۱۵٪ بیشتر از خود اورانیم بود. جای تعجب است که کوری درباره این نکته نیز توضیحی نداد، با وجود اینکه چندی بعد معلوم شد که کلید اصلی وجود رادیم این واقعیت بود که برخی از مواد حاوی اورانیم فعالتر از اورانیم خالص بودند. فعالیت بیش از حد يك ترکیب ظاهراً خالص از اورانیم به طور یقین غیرمنتظره بود. چرا او به فعالیت غیرعادی این نمونه، U_2O_5 ، اشاره ای نکرد؟ مشکل می توان باور کرد که کوری از انجام محاسبات متناسب بین فعالیت و مقدار اورانیم یا توضیح نتیجه به دست آمده در مورد U_2O_5 در دفتر یادداشت آزمایشگاهی خود، غفلت کرده باشد. اما

یونش خود، بررسی این پدیده را آغاز کرد. آن خاصیت ویژه اتمی که وی در جستجوی آن بود و خیلی بعد متوجه آن شد، ناپایداری هسته ای بود؛ خاصیتی که در واقع تنها به برخی از مواد تعلق داشت. اما این ویژگی، آنها را به روش کاملاً جدیدی از سایر اتمها مشخص می کرد.

کوری ابتدا تمام عناصر فلزی و غیر فلزی متداول و همچنین اجسام نادر گالیم، ژرمنیم، نئودیمیم، پراسئودیمیم، نیوبیم، اسکندیم، گادولنیم، اریبیم، ساماریم، روبیدیم، ایتیریم و ایتیریم را آزمایش کرد. وی در هیچ يك از آنها بجز رادیم و توریم، خاصیت پرتوزایی را مشاهده نکرد. سپس به ترکیبات شیمیایی پرداخت، اما مشاهده کرد که بجز ترکیبات همان دو عنصر هیچ کدام فعال نیستند. کوری در رساله خود جدولی از جریانهای یونش را که از ترکیبات گوناگون اورانیم مشاهده شده و در شرایط یکسان اندازه گیری یا به بیان امروزی شمارش شده اند ارائه کرده است. معلوم شد که ضخامت نمونه روی صفحه مهم نیست؛ وی به درستی نتیجه گرفت که بخش عمده تابش تحت بررسی (ذرات آلفا که بعداً مشخص شد) نفوذ زیادی نداشتند و قویاً توسط خود نمونه جذب می شدند، به طوری که در هر مورد تنها لایه های بالایی قابل تشخیص بودند. در این رابطه ماری کوری در رساله خود می نویسد «می توان چنین نتیجه گرفت که جذب پرتوهای اورانیم توسط ماده ای که آنها را نشر می کند، بسیار زیاد است، زیرا پرتوهایی که از لایه های عمقی بیرون می آیند اثر چندانی ندارند».

کوری می دانست که فعالیت های * اندازه گیری شده باید متناسب

* ماری کوری واژه «فعالیت» را به دو معنا به کار برد: (۱) هر اندازه کمی از شدت تابش که يك نمونه نشر می کند و (۲) خاصیت کیفی تابش نشری یعنی بیان خلاصه «پرتوزایی». متأسفانه این کاربرد دو گانه امروزه نیز رایج است. وقتی رادرفورد و سادی تشخیص دادند که نشر تابش با تبدیل اتمها همراه است، کمیتی که در تعریف اول مطرح است متناسب با تعداد تبدیلهای اتمی است که در يك نمونه و در واحد زمان رخ می دهند یعنی dn/dt . در اینجا N تعداد اتمهای ناپایدار در نمونه و t زمان است. کلمه فعالیت در بالا به معنای کمی آن مورد استفاده نویسنده مقاله حاضر قرار گرفته است. احتمال دارد کوری در زمان نوشتن رساله خود در مورد اینکه «فعالیت» يك نمونه (به مفهوم کمی آن) متناسب با میزان تبدیلهای اتمی است، اطلاع کافی داشت یا به شدت مردد بود. زیرا نظریات تبدیل رادرفورد و سادی تقریباً در همان زمان وارد نوشتارهای علمی شده بود.



شکل ۱۰. میز مطالعه ماری کوری در مؤسسه‌ای که او در سال ۱۹۱۳ اولین رئیس آنجا شد.

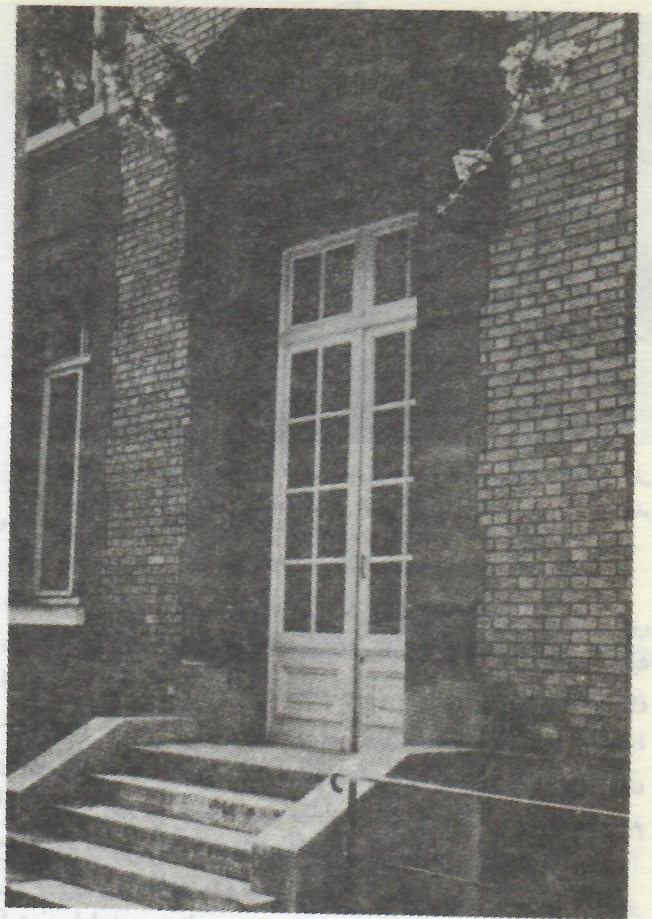
باشد و فعالیتی بیشتر از آنچه از مقدار اورانیم آن به‌تنهایی انتظار می‌رود، نشان دهد.

در بین کانیها و کانه‌های طبیعی بسیاری که بعداً ماری کوری مورد آزمایش پرتوزایی قرار داد، دریافت که چهار کانی اورانیم*، نسبت به اورانیم خالص فعالیت بیشتری نشان می‌دهند. این کانیها عبارت بودند از: اتونیت، $12H_2O - 208Ca(UO_2)(PO_4)_2$ ؛ چالکولیت $12H_2O - 208Cu(UO_2)(PO_4)_2$ که نام متداولتر آن توربرنیت است، کارنوتیت، $203K_2(UO_2)(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ؛ و سه نمونه از پیچیلند، $UO_2 \cdot UO_3$ ، از منابع مختلف. فعالیت این کانیها نسبت به اورانیم عنصری به‌ترتیب با ضریب ۲۳، ۱۲۳، ۲۲۷، ۲۲۸، ۳۲۵، و ۳۶۳ زیاد می‌شود. این داده‌ها کلید تاریخی کوری برای اثبات وجود ماده یا مواد طبیعی ناشناخته در کانیها بود که پرتوزایی آن یا آنها نسبت به اورانیم یا توریم شدیدتر می‌بود.

(قابل توجه است نمونه « U_3O_8 » که مورد بحث قرار گرفت کاملاً در گستره این کانیها جای می‌گرفت. چون فعالیت آن حدود ۱۲۴ برابر فعالیت اورانیم بود و نزدیک به حداقل گستره فعالیت واقع می‌شد که دلیل دیگری برخالف نشدن کامل این ماده است.) کوری می‌نویسد «تمام کانیهای که پرتوزایی نشان دادند حاوی اورانیم یا توریم بودند؛ در نتیجه فعالیت آنها تعجب‌آور نیست اما شدت این پدیده در برخی موارد غیرمنتظره است... نتیجه گیریهای قبلی نشان می‌دهند که هیچ‌یک از کانیها نباید به اندازه اورانیم یا توریم عنصری، فعال باشند.»

جهت روشن شدن این نکته، کوری یک نمونه سنتزی از چالکولیت را از واکنشگرهای آزمایشگاهی اورانیم نیترات، مس فسفات و فسفریک اسید تهیه کرد و شدت تابش آن را با شدت تابش کانی طبیعی مقایسه نمود. این آزمایش آشکارا به‌منظور اثبات این گمان طراحی شده بود که کانیهای طبیعی، ماده پرتوزای کاملاً جدیدی را در بر داشتند. چون نمونه سنتزی فعالیت بیش از حدی نشان نداد، در واقع موجب تقویت این گمان شد.

* فرمولها به صورتی ارائه شده‌اند که امروزه قابل قبول است. کوری در رساله خود هیچ فرمولی ارائه نکرده بود.



شکل ۹. مؤسسه رادیم، بخشی از مؤسسه کوری به صورت امروزی خود در خیابان بی‌رو ماری کوری پاریس.

شاید این نتایج را به اندازه کافی خارج از محدوده خطای آزمایش نیافت که در این مرحله خود را ملزم به ارائه نظری روشن در رساله بداند. به نظر من این احتمال وجود دارد که وی ترجیح داده است وقتی این رویداد غیرمنتظره (وجود یک عنصر پرتوزای جدید) را در رساله خود مطرح کند که بتواند نتیجه گیریهای خود را بر اساس فعالیت اضافی چشمگیرتر برخی از کانیهای طبیعی اورانیم (در مقابل ترکیبهای آزمایشگاهی) بنا کند. کوری دریافت که فعالیت این مواد سه یا چهار برابر عنصر اورانیم است (به‌مباحث زیر رجوع شود).

در هر صورت، امروزه می‌توان توضیح مناسبی برای فعالیت بیش از حد نمونه U_3O_8 کوری ارائه داد. بدین ترتیب که این نمونه یک واکنشگر آزمایشگاهی خالص نبود بلکه اورانینیت، $UO_2 \cdot UO_3$ ، کاملاً خالص نشده بود. در حال حاضر می‌دانیم که در هر کانی، رادیم و سایر نوزادهای سریهای تجزیه هسته‌ای مربوط به اورانیم در حال تعادل پرتوزا با اورانیم هستند و این تعادل تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که این مواد توسط فرایندهای خالص سازی شیمیایی از اورانیم جدا شوند. در نتیجه اگر «ترکیب» U_3O_8 یک کانی طبیعی کاملاً خالص شده نبود، در واقع می‌بایستی دارای مقداری رادیم

* این نکته را می‌توان با مراجعه مستقیم به دفتر یادداشت‌های او بررسی کرد. این دفتر یادداشتها در آزمایشگاه کوری در پاریس نگاهداری می‌شوند ولی کاملاً آلوده‌اند.

با توجه به این نتیجه کمی $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O$ آپیوشیده‌ترین شکل چالکولیت طبیعی، ۴۷۱٪ اورانیم دارد و در نتیجه پیش‌بینی می‌شود که فعالیت آن ۲۱ مرتبه کمتر از فعالیت فلز اورانیم باشد؛ مشاهده ۲۵ مرتبه کاهش فعالیت در ترکیب سنتزی وی ممکن است به دلیل وجود ناخالصی جزئی در نمونه یا اساساً به علت آپیوشیدگی بسیار زیاد آن باشد.

ماری کوری با اشاره بر فعالیت زیاد و بیش از حد اتونیت، چالکولیت و پیچبلند در مقایسه با فلز اورانیم، سرانجام در پایان فصل اول رساله خود می‌نویسد «بدین ترتیب این احتمال وجود دارد که این مواد حاوی مقادیر اندک از یک جسم* پرتوزای قوی باشند که با اورانیم و توریم و اجسام ساده‌شناخته شده فعلی متفاوت است».

تعجب‌آورتر از سکوت قبلی‌اش در مورد فعالیت بیش از حد نمونه U_2O_5 ، چشم‌پوشی از فعالیت بالای کارنوتیت بود. چون کوری بیان سرنوشت‌ساز خود درباره وجود احتمالی یک عنصر پرتوزای جدید را تنها بر اساس فعالیت زیاد غیر عادی اتونیت (۲۲ برابر U)، چالکولیت (۲۳ برابر U) و پیچبلند (۲۸-۳۶ برابر U) و صرف نظر از فعالیت زیاد کارنوتیت، استوار ساخت. در واقع در میان ۲۳ نمونه کانی پرتوزایی که گزارش کرد، به استثنای سه نمونه پیچبلند، نمونه کارنوتیت او از همه فعالتر بود؛ ۲۷ برابر فعالتر از اورانیم عنصری. در این صورت چرا برای اثبات وجود یک ماده پرتوزای ناشناخته از شواهدی چون اتونیت و چالکولیت کمتر فعال به جای کارنوتیت نام برد؟

پاسخ ممکن است در احتیاط و محافظه‌کاری کوری نهفته باشد که در سرتاسر رساله‌اش به چشم می‌خورد. اگر در مورد یک نتیجه کمترین تردیدی وجود داشته باشد چه از طرف وی و چه از سوی دیگری، از به کارگیری آن در فرمولبندی یک نتیجه‌گیری یا حتی طراحی یک فرضیه خودداری می‌کند. در واقع در رساله‌اش با نتیجه‌گیریهای صرف به ندرت برمی‌خوریم و این موارد را به بخش خلاصه و جداگانه‌ای در پایان رساله واگذار کرده است. در پانوشته جدولی بیان می‌کند «کارنوتیت کانه‌ای است که به تازگی توسط فریدل و کومنگ کشف شده است» ظاهراً تصمیم می‌گیرد که نتیجه‌گیری شگفت‌انگیز خود را با ارتباط دادن آن به یک ماده تازه گزارش شده به‌مخاطره نیندازد، ماده‌ای که ترکیب و سایر خواص آن هنوز مورد تأیید کاملش قرار نگرفته بود. با اینکه تصمیم وی در مورد چشم‌پوشی از نتیجه کارنوتیت با این تفاسیر تا حدی قابل دفاع است، اما نشانه‌ای از تمایل مداومش به‌رها کردن جزئیات پردرسری است که به‌محور اصلی کارش ارتباطی ندارد.

مخلوط چیست؟

چون نکات ظریفی وجود دارد که کوری نمی‌توانست از آنها اطلاعی داشته باشد، امروزه جالب است استدلالش درباره فعالیت کانه‌ها را مورد بررسی دقیق قرار دهیم: (۱) اینکه کانه یا کانی پرتوزایی بیشتری نسبت به اورانیم خالص نشان می‌دهد باید مربوط

* کوری واژه corps («جسم») را به معنی ماده خالص (عنصر یا ترکیب) به کاربرد. عنصر معمولاً به «جسم ساده» اطلاق می‌شود.

به وجود ماده یا مواد دیگری علاوه بر اورانیم در آنها باشد؛ (۲) اینکه این مواد هنوز از نظر شیمیایی شناسایی نشده بودند باید به علت وجود مقادیر اندک آنها در کانی یا کانه مربوطه باشد؛ (۳) اینکه با وجود مقادیر اندک، پرتوزایی اغافی قابل توجهی در کانه‌ها تولید می‌کنند. آنها می‌بایست اتم به اتم نسبت به اورانیم پرتوزای قویتری باشند.

این منطق ظاهر آ انحصاری، تلویحاً بر اساس مفهوم یک مخلوط بنا شده است: دو یا تعداد بیشتری از مواد پرتوزایی داریم در زمان تشکیل کانه با یکدیگر رسوب کرده‌اند به طوری که پرتوزایی کانه در مقایسه با هر یک از مواد به تنهایی بیشتر بوده و هست. این مفهوم غیراستدلالی اختلاط در یک زمان گذشته، در کوشش کوری برای جداسازی ماده یا مواد ناشناس کاملاً مؤثر افتاد. کوششی که به کشف پولونیم و رادیم انجامید.

اما امروزه می‌دانیم که رادیم و پولونیم به معنای متداول با اورانیم مخلوط نشده بودند. آنها با اورانیم به این دلیل ته‌نشین نشده بودند تا بیلینوها سال بعد توسط معدنچیان استخراج و به وسیله تکنسینها جداسازی شوند. در عوض آنها طی قرون در محل اولیه خود از انرژی و ماده خود اورانیم تولید شده‌اند. چون کانه اورانیم در جایی رسوب کرده است که هم‌اکنون بشر آن را پیدا می‌کند. هنگامی که ماری کوری مالک این کانه‌های بیش از حد فعال می‌شد، بدون اینکه متوجه باشد، فرایند تولید همچنان ادامه می‌یافت. اختلاف بین این کانه‌ها و ترکیبهای اورانیم «فعال عادی» موجود در قفسه‌های آزمایشگاهش مربوط به زمان بود. این مواد شیمیایی آزمایشگاهی بعد از استخراج از خانه خود در پوسته زمین و تخلیص به دست بشر، هنوز زمان کافی برای به عمل آوردن محصولی از یک نوزاد پرتوزا نداشته‌اند.

بنابراین زمان، عامل اصلی ولسی کشف نشده و محض در سرتاسر کار پژوهشی کوری بود. اختلاط رادیم و اورانیم یک پدیده پویای وابسته به زمان بود نه یک پدیده ایستا. اما فقط به دلیل عمر متوسط بسیار طولانی اورانیم و رادیم، به ترتیب بیلینوها و هزاران سال، خانواده کوری می‌توانستند از تغییرات بحرانی که توسط زمان در نمونه‌های پرتوزای آنها ایجاد می‌شد، بی‌خبر بمانند. آنها از این نظر خوش شانس بودند. اما بعدها همان‌طور که در ادامه مقاله بحث خواهد شد، ناپدید شدن مرموز پولونیم در عرض چند ماه آنها را به کلی مبهوت ساخت.

ترجمه اعظم رحیمی

دومین و آخرین قسمت از این مقاله را در شماره آینده می‌خوانید.

• Marie Curie's Doctoral Thesis: Prelude to a Nobel Prize
Robert L. Wolke
Journal of Chemical Education, July 1988

