

رساله دکترای ماری کوری پیش درآمدی بر جایزه نوبل

رابرت ولکه

قسمت اول این مقاله در شماره قبل آمد. در قسمت دوم گوشه‌های دیگری از رساله دکترای ماری کوری بررسی شده است.

رساله «فصل ۲، روش پژوهش»

دوش ردیابی

عنوان این فصل اشاره بر تکوین یک روش پژوهشی تازه دارد و آن ردیابی پیشرفت تغییر شیمیایی است نه از راه اندازه گیری جرم، رنگ، طیف و خواصی از این قبیل، بلکه از راه اندازه گیری پرتوزایی. کوری می نویسد «روش کار ما (برای جداسازی یک ماده پرتوزای تازه) تنها می توانست بر اساس پرتوزایی استوار باشد، چون هیچ گونه اطلاع دیگری از خواص ماده فرضی نداشتیم» (ص ۲۱).

ظاهراً، برخی عناصر می توانستند حضور خود را با برافراشتن پرچمی جدید یعنی نشر تابش یون کننده اعلام کنند. کوری آماده بود تا از این واقعیت برای ابداع روشی که امروزه به روش پرتوشیمیایی یا ردیابی معروف است، استفاده کند. اساس این روش دنبال کردن یک فرایند فیزیکی، شیمیایی یا زیست شناختی با ردیابی تابشی است که از یک جزء پرتوزای ویژه نشر می شود. کوری با آخرین جمله رساله اش نشان داد که موفقیت، جسارت کافی به وی بخشیده است تا ادعا کند که روش او «به تحول علمی [تازه‌ای] منجر شده است» (ص ۱۴۲). ولی نمی توانست به طور کامل به این واقعیت پی ببرد که روش ردیابی تا چه اندازه در عصر هسته‌ای آینده و پس از آن مفید واقع خواهد شد. کوری در مقایسه حساسیت آنالیتیکی آشکار سازی پرتوزایی با حساسیت طیف بینی جرقه‌ای (روشی که برای تأیید حضور و خلوص عنصر تازه رادیم به آن متکی بود) به سختی توانست غرور خود را به عنوان یک شیمیدان مخفی کند و اظهار داشت که برای آشکار سازی رادیم «خاصیت پرتوزایی چندین هزار برابر حساستراز واکنش طیفی است» (تحلیلهای طیف بینی توسط اوژن دمارسی^۱ انجام می گرفت و کوری در رساله خود از وی به خاطر مهارت و همکاریش تشکر کرده است).

1. Eugene Demarcay

چرا رادیم همراه با اورانیم در طبیعت یافت می شود؟

کوری در تمام مدتی که مشغول جداسازی عناصر پرتوزای تازه از کانه اورانیم بود، درباره علت اینکه این عناصر در طبیعت همراه با اورانیم یافت می شوند، هیچ عقیده‌ای نداشت. یعنی نمی دانست که ارتباط آنها از نوع پرتوزایی است نه شیمیایی. چون نتیجه کار او منجر به آن شد که خواص شیمیایی رادیم و پولونیم را به ترتیب به خواص شیمیایی باریوم و بیسموت مربوط کند*، بنا بر این مسئله بسیار عجیب این بود که این عناصر به ظاهر فلزی گروه V چرا باید در طبیعت تنها همراه با فلز اورانیم یافت شوند که طبق طبقه بندی آن زمان در گروه VI جدول تناوبی و در زیر تنگستن قرار می گرفت. چگونه عناصر تازه با اورانیم در سنگها همراه شده بودند؟ در هیچ جای رساله اشاره‌ای به این معمای اصولی نشده است.

به علاوه موضوعی که بدون شك برای کوری معمای شده بود و به طور انفعالی تنها به ارائه سندی در این زمینه اکتفا کرد، جستجو و شکست وی در یافتن رادیم همراه با باریوم طبیعی بود. باین همه، شباهت بسیار خواص شیمیایی رادیم با باریوم بود که جداسازی رادیم از کانه اورانیم را برایش امکان پذیر ساخت؛ هر جا باریوم می رفت رادیم هم به دنبال آن می رفت*^۲. باینکه جداسازی رادیم از باریوم موجود در کانه برایش بی اندازه مشکل بود ولی باین همه نتوانست اثری از پرتوزایی شدید رادیم را در باریوم کلرید معمولی پیدا کند. بعد از تبلور جزء به جزء ۵۰ kg باریوم کلرید تجارتي و به دست آوردن ۱۰ g از نامحلولترین بلورها (روشی که به طور موفقیت آمیز رادیم کلرید

* البته در نظر گرفتن پولونیم به عنوان ترکیبی مشابه بیسموت اشتباه بود و در این مورد بحث خواهد شد.

** اتفاقاً جای بسی خوشبختی بود که باریوم در کانه به اندازه کافی وجود داشت تا رادیم را با خود حمل کند، زیرا رادیم به اندازه کافی وجود نداشت که به تنهایی بتوان آن را رسوب گیری کرد.

خالص را از کانه‌های اورانیم تولید کرده بود) کوری به سادگی و بدون هیچ گونه تفسیری گزارش می‌کند که «این کارید در دستگاه اندازه گیری، هیچ گونه فعالیتی نشان نداد؛ در نتیجه این ماده رادیومی نداشت و [رادیم] در کانه‌های باریوم موجود نیست» (ص ۴۴).

بدین ترتیب، هر چند رادیم و باریوم از نظر خواص شیمیایی بسیار شبیه یکدیگرند ولی کانه‌های باریوم اثری از رادیم در خود ندارند. در حالی که کانه‌های اورانیم، عنصری که شباهت شیمیایی با رادیم ندارد، همگی رادیم دارند! (با این همه او برای یافتن پرتوزایی رادیم عملاً تمام مواد شناخته شده را جستجو کرده بود و تنها آن را همراه با اورانیم یافته بود). کوری بدون ارائه هیچ گونه تفسیری درباره این نتیجه سؤال برانگیز به ناگهان فصل دوم رساله را به پایان می‌رساند و توجه خود را به سایر مواد معطوف می‌دارد.

ماری کوری در خودداری از تفسیر این معمای شیمیایی کمتر به آن تعمق می‌کنند و اگراه دارد که به نقاط تاریک شناخت خود اعتراف کند در حالی که انتظار می‌رود در یک رساله دکترای برداشش کسب شده تأکید شده باشد تا آنچه مجهول باقی می‌ماند، به نظر می‌رسد که کوری در تشریح برخی از گیج‌کننده‌ترین مسائل، بی‌میلی ویژه‌ای داشته باشد و حتی ترجیح دهد که آنها را مخفی کند.

باید نزدیک به یک دهه طول می‌کشید تا توضیح کاملی درباره وابستگی نزدیک رادیم به اورانیم و تنها به اورانیم، در طبیعت (توسط رادرفورد، سادی، فائانزا و سایرین) داده می‌شد، یعنی در مورد اینکه رادیم، نوزاد سری‌تلاشی آلفای اورانیم - ۲۳۸ است و اینکه نشردر آلفا عناصر سنگین را دو واحد عدد اتمی تغییر می‌دهد، یعنی در هر مرحله جای عنصر در جدول تناوبی در حد دو گروه تغییر می‌کند و بعد از یک سری از این انتقالها (که اغلب در بین آنها نشردر پتا صورت می‌گیرد) برخی همبسترهای عجیب شیمیایی را می‌توان در یک کانی پیدا کرد. این دهه‌ای بود که طی آن شیمی باید نفسی تازه می‌کرد تا فیزیک به آن برسد.

جداسازی و تشخیص رادیم

هدف اصلی کار رساله ماری کوری جدا سازی پولونیم و رادیم از پیچبلند و شناسایی آنها به عنوان عناصر تازه بود. ولی وی مجبور به بیان این واقعیت شد که «بعد از چند سال کار [برای جداسازی رادیم و پولونیم] من تا کنون تنها در [به دست آوردن] اولی موفق بوده‌ام» (ص ۲۷). ما ابتدا به بحث در باره جداسازی رادیم می‌پردازیم و بعد دلایل شکست کوری را در جداسازی پولونیم مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم.

بعد از انجام آزمایشهای تجربی لازم که طی آن رفتار شیمیایی رادیم کشف گردید، رادیم همراه با باریوم به صورت کربنات و سولفات جداسازی شد و بعد با زحمت بسیار توسط تبلور جزء به جزء کلریدهای این دو، رادیم از باریوم جدا گشت. این بخش از کار پژوهشی ماری کوری به علت مقیاس بسیار بزرگ و روش کار پر زحمت آن، بیشترین توجه را به خود جلب کرده است و به مراتب بیشترین مهارت شیمیایی، پافشاری، جرأت و طاقت محض را در مقایسه با کل کار می‌طلبیده است.

1. Rutherford, Soddy, Fajans

از آنجا که خود پیچبلند بیش از حد گران بود، کوری با باقیمانده‌هایی کار می‌کرد که بعد از برداشت مقدماتی اورانیم از معدن (دریواخیم-اشنال، بوهمیا، با نام امروزی یازیموف، در چکسلواکی) برجای می‌ماند. این جداسازی مقدماتی شامل تشویه کانه پودر شده با سدیم کربنات و خیسانیدن توده با سولفوریک اسید رقیق برای تولید محلولی از سدیم اورانیل سولفات بود. باقیمانده قهوه‌ای نامحلولی که در جنگل کاج نزدیک معدن انباشته می‌شد نقش ماده اولیه را برای کوری پیدا می‌کرد. ماری از این ماده چنین یاد می‌کند «کسه-های خاک قهوه‌ای مخلوط با برگهای سوزنی کاج». «این باقیمانده مواد پرتوزا دارد» (ص ۲۷) «... در مقادیر بی‌اندازه کوچک» (ص ۲۵) «... دولت اتریش که مالک معدن بود با سخاوت یک تن [آن را] برای ادامه پژوهش به ما داد و اجازه داد که مسئولان معدن چندتن دیگر در اختیار ما بگذارند...» (ص ۲۷).

چون ماری کوری با مقادیر ۲۵ کیلوگرمی سروکار داشت، لذا کار جداسازی شیمیایی را در پاتیل‌های چدنی بزرگ انجام می‌داد و محلولهای غالباً در حال جوش و دوغابهارا بایک میله آهنی بزرگ و در هر مرحله برای چند ساعت بهم می‌زد. (انسان وقتی به گاز رادونی که از این پاتیل‌های پر دود برمی‌خاست و تنفس می‌شد فکر می‌کند، به خود می‌لرزد).

نمودارهای جریان جداسازی شیمیایی که من با استفاده از توصیفهای تحت‌اللفظی نسبتاً نامتوالی و به هم پیچیده ارائه شده در رساله ترسیم کردم در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. نمودارها با کانه مربوطه شروع و با حدود هشت کیلوگرم مخلوط نسبتاً خالص باریوم کلرید و رادیم کلرید پایان می‌یابد. در مرحله بعد این دو نمک با یک روش تبلور جزء به جزء که استادانه طرح ریزی شده بود از یکدیگر جدا می‌شدند.

اولین مرحله جوشاندن باقیمانده‌ها که مقیاس بزرگی داشت در کارخانه شرکت مرکزی محصولات شیمیایی* توسط همکار و دوست خانوادگی کوری [«دوست ما» (ص ۲۳)]، آندره دبیرن (شکل ۳) طراحی و اجرا شد. این باقیمانده‌ها بیشتر از نوع سیلیس و سولفاتهای کلسیم، آلومینیم، آهن و سایر فلزات در محلول سدیم کربنات غلیظ بود. آن گاه یک مجموعه مراحل آزمایشگاهی دنبال می‌شد که طی آن سه عنصر پرتوزای مورد نظر به اجزایی جداسازی می‌شدند. من برای روشن ساختن واژگان ماری کوری که دقت کمتری داشت آنها را «اجزای Ra, Ac, Po» نامیده‌ام.

کوری با توجه به رفتار شیمیایی و وزن اتمی (در آن زمان اعداد اتمی هنوز مشخص نشده بودند و تعیین موقعیت عناصر در جدول تناوبی بر اساس وزنهای اتمی صورت می‌گرفت) دریافته بود که «رادیم عنصری از مجموعه فلزات قلیایی خاکی است. این عنصر... همردۀ باریوم و در بالای آن واقع است... [و] در جدول مندلیف به دوره‌ای [تعلق دارد] که قبلاً اورانیم و توریم در آن مستقر شده‌اند» (ص ۴۳). (شکل ۴ را ببینید.) چون «نمکهای رادیم کاملاً مشابه نمکهای باریوم مربوطه است» (ص ۴۳). روش تبلور بر اساس انحلال پذیری

* Société Centrale de Produits Chimiques

1. André Debierne

** امروزه می‌گویم «زیر باریوم».

خاصیت مرموزیک دهم گرم نمونه از عنصری ناشناخته، به دست آمد. نمونه چکیده ای بود که با زحمت بسیار توسط روشهای شیمیایی مرطوب از میلیونها گرم ماده اولیه خام به دست آمده بود!

ماری کوری وزن اتمی رادیم را توسط «روش کلاسیک اندازه گیری کلرموجود، در نمونه ای با وزن مشخص از کلرید بی آب، به صورت نقره کلرید» (ص ۳۹) به دست آورد. (شکل ۵ را ببینید.) به تدریج که نمونه های خالصتری از $RaCl_2$ یا به عبارت دیگر نمونه هایی با باریم کمتری به دست می آورد، وزن اتمی نمونه ها به طور منظم از مقدار ۱۳۷ باریم پیشی می گرفت. سرانجام وقتی 0.1208 گرم نمونه به دست آمد که تنها خطوط طیف بینی بسیار ضعیفی از باریم را نشان می داد، رقم ۲۲۵ برای وزن اتمی رادیم تعیین گردید. این مقدار حدود ۵ درصد با مقدار قابل قبول جاری، 226.073 ، تفاوت دارد.



شکل ۳. آندره دبیرن، همکار خانواده کوری، در آزمایشگاه محقر، سال ۱۹۰۰. ظروفي که در آن جداسازی رادیم انجام می گرفت نیز در شکل پیداست. دبیرن بعد از درگذشت ماری کوری در سال ۱۹۳۴ تا ۱۹۴۶ ریاست آزمایشگاه کوری را به عهده داشت.

۲۲ avril

$$Ox + CaCl_2 = 14,748,05$$

$$id + RaCl_2 = 14,857,3 \quad Ra d = 0,109,25$$

$$CaCl_2 + RaCl_2 = 10,314,65 \quad Ag d = 0,10649$$

$$Ca + Ag d = 10,421,12$$

$$\frac{7.39270}{7.02723} = \frac{0.10925}{0.08295} = \frac{0.0694}{0.2723}$$

$$\frac{2.91882}{2.41993} = 0.49889$$

$$\frac{Ra}{Cl} = 3.154 \quad \frac{1.85003}{0.44889} = 2.34892$$

$$Ra = 223.3$$

Quantité réduite avec les 100, sans le caucast, base

$$caucast + quant = 10.3942$$

$$2a = 0.07955$$

$$Ra = 0.02330$$

$$2a \cdot Cl = 0.10564$$

différence avec la part de caucast = 0.0083

g est en un peu de Ag un adhésif au caucast?

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Li 7.03	Be 9.08	B 10.95	C 12.0	N 14.04	O 16.0	F 19.06	
Na 23.05	Mg 24.3	Al 27.1	Si 28.4	P 31.02	S 32.1	Cl 35.45	
K 39.11	Ca 40.1	Sc 44.1	Ti 48.2	V 51.4	Cr 52.14	Mn 55.0	Fe 56.0
	Zn 65.4	Ga 69.9	Ge 72.5	As 75.0	Sr 87.6	Br 80.0	Co 58.9
Rb 85.4		Y 89.0	Zr 90.4	Nb 93.7	Mo 96.0		Ni 58.7
	Ag 107.9	Cd 112.0	In 113.9	Sb 120.4	Te 127.5	I 126.9	Pd 106.4
Cs 132.9	Ba 137.4	La 138.6	Ce 140.2				Ru 101.7
		Vs 173.2		Ta 182.8	W 184.8		Rh 103.0
							Pt 106.4
							Cu 63.5
							Zn 65.4
							As 75.0
							Se 78.9
							Br 80.0
							Kr 83.8
							Rb 85.4
							Sr 87.6
							Y 89.0
							Zr 90.4
							Nb 93.7
							Mo 96.0
							Tc 98.9
							Ru 101.7
							Rh 103.0
							Pd 106.4
							Ce 140.2
							Pr 140.9
							Nd 144.2
							Pm 146.9
							Sm 150.4
							Eu 151.9
							Gd 157.3
							Tb 158.9
							Dy 162.5
							Ho 164.9
							Er 167.3
							Tm 168.9
							Yb 173.0
							Lu 174.9
							Hf 178.5
							Ta 182.8
							W 184.8
							Re 186.2
							Os 190.0
							Ir 192.2
							Pt 195.1
							Au 197.0
							Hg 200.6
							Tl 204.4
							Pb 207.2
							Bi 208.9
							Po 209
							At 210
							Rn 222
							Ac 227
							Th 232
							Pa 231
							U 238
							Np 237
							Pu 244
							Am 243
							Cm 247
							Bk 247
							Cf 251
							Es 252
							Fm 257
							Mn 55.0
							Fe 56.0
							Co 58.9
							Ni 58.7
							Cu 63.5
							Zn 65.4
							As 75.0
							Se 78.9
							Br 80.0
							Kr 83.8
							Rb 85.4
							Sr 87.6
							Y 89.0
							Zr 90.4
							Nb 93.7
							Mo 96.0
							Tc 98.9
							Ru 101.7
							Rh 103.0
							Pd 106.4
							Ce 140.2
							Pr 140.9
							Nd 144.2
							Pm 146.9
							Sm 150.4
							Eu 151.9
							Gd 157.3
							Tb 158.9
							Dy 162.5
							Ho 164.9
							Er 167.3
							Tm 168.9
							Yb 173.0
							Lu 174.9
							Hf 178.5
							Ta 182.8
							W 184.8
							Re 186.2
							Os 190.0
							Ir 192.2
							Pt 195.1
							Au 197.0
							Hg 200.6
							Tl 204.4
							Pb 207.2
							Bi 208.9
							Po 209
							At 210
							Rn 222
							Ac 227
							Th 232
							Pa 231
							U 238
							Np 237
							Pu 244
							Am 243
							Cm 247
							Bk 247
							Cf 251
							Es 252
							Fm 257

شکل ۴. جدول تناوبی مندلیف به صورتی که در زمان شروع کار رساله وجود داشت.

خاطر نشان می کند که این رقم را «باید [تنها] مقداری تقریبی به حساب آورد [زیرا] تخمین فعالیت اجسام بسیار پرتوزا واقعاً مشکل است» (ص ۴۰). با وجود این، تخمین او به طور دقیق مرتبه بزرگی درستی دارد، چون ضریب واقعی برای $RaCl_2$ برابر 106×212 است. این قابل توجه ترین نتیجه نهایی است که به درستی با استفاده از یک وسیله الکتریکی ابداعی برای اندازه گیری

شکل ۵. صفحه ای از دفترچه یادداشت خانواده کوری، ۲۲ آوریل ۱۹۰۲، که اندازه گیری وزن اتمی رادیم را به مقدار 223.3 نشان می دهد. با افزایش درجه خلوص رادیم، وزن اتمی به 226 نزدیکتر می شد. نیمه بالای صفحه توسط بیرونی و نیمه پایین توسط ماری نوشته شده است.

«ما... موفق شدیم چند دسی گرم محصول را از... هزاران کیلوگرم ماده اولیه استخراج کنیم» (ص ۲۳).

اغلب از این عبارت شگفت آور به عنوان مثالی روشن از مهارت شیمیایی فوق العاده ماری کوری و همکارانش یاد می شود؛ بازیابی چند دسی گرم محصول از چند تن ماده اولیه، قضیه يك قسمت در ده میلیون قسمت است. این واقعیت به خودی خود جالب توجه است. ولی يك محاسبه ساده بر اساس این عبارت، اندازه بازدهی یا بهره شگفت آوری را به دست می دهد که با آن این جداسازی با مقیاس وسیع انجام گرفت.

می توان نشان داد که اگر يك نوزاد پرتوزا با مادر خود که عمر بسیار طولانیتری دارد، در تعادل دیر پای باشد (مثل رادیم و پولونیم و سایر نوزادان، با اورانیم در يك کانه)، در آن صورت نسبت تعداد مولهای هر ایزوتوپ نوزاد به تعداد مولهای مادر دیر پای خود برابر نسبت نیم عمرهای آنهاست. از این رو:

$$= \text{تعداد مولهای } {}^{226}\text{Ra} \text{ موجود در کانه}$$

$$\text{تعداد مولهای } {}^{238}\text{U} \times \frac{1600 \text{ سال}}{4747 \times 10^9 \text{ سال}}$$

بدین ترتیب سه تن اورانیم خالص ۱۰۲ g رادیم دارد. چون رادیم سولفات و رادیم کلرید حدود ۷۰٪ وزنی رادیم دارند، بازیابی «چند دسی گرم» یا شاید ۳ g از هر ترکیب توسط کوری نماینده بهره شیمیایی حدود ۲۰٪ است در صورتی که ماده اولیه، تمام نوزادان حاصل از سه تن اورانیم خالص را در برداشت. ولی بدیهی است که کانه اورانیم خالص نبود. هر چند عیار واقعی کانه یواخیم اشتال کوری مشخص نیست، ولی پیچیدگی عموماً ۵۰ تا ۸۰٪ اورانیم دارد. بنابراین، بازیابی حدود ۳ g رادیم نماینده بهره شیمیایی کلی ۳۰ تا ۴۰٪ است. در اینجا فرض بر این است که وقتی اورانیم از معدن برداشت می شد، حتی قبل از اینکه باقیمانده به عنوان ماده اولیه به دست وی برسد، هیچ اورانیمی تلف نمی شد!

بدیهی است کوری در این مورد که رابطه ثابتی بین مقدار اورانیم موجود در يك کانه و مقدار رادیم وابسته به آن وجود دارد هیچ شکی نداشت، در غیر این صورت شاید درباره عیار اورانیم کانه اشاره ای می کرد. با وجود این، روشن است که در يك جداسازی يك قسمت در ده میلیون قسمتی، بازدهی در مرتبه ۳۰ تا ۴۰٪ به طور حیرت آوری بالاست، حتی اگر منظور «چند دسی گرم» از محصولی باشد که به طور قابل توجه ناخالصی باریم داشته است. به طور حتم جداسازی نهایی ۱۲۰ g رادیم کلرید کاملاً عاری از باریم نشان می دهد که بهره با درجه خلوص بالای نهایی او دست کم در مرتبه ۴۰ g (۰٫۱۲ g / ۰٫۳ g) بهره شیمیایی تخمین زده شده یا حدود ۱۵٪ بود.*

* تخمین دقیقتر بهره شیمیایی Ra با مراجعه به دفتر یادداشت آزمایشگاهی اصلی کوری برای به دست آوردن مقادیر دقیق باقیمانده پیچیدگی و نمک Ra بازیابی شده، امکان پذیر است.

جداسازی مقدار اندکی از يك ترکیب شیمیایی خالص طیف بینی از حدود ۱۰۴ مترمکعب جامد حاکی باهریک از این بهره های قابل توجه، صرف نظر از درصد دقیق، به طور غیر قابل انکار در حیطه قدرت شیمی بوده و امروزه نیز هست.

دوسر پولونیم

چون تمام قدمهای بعدی برای بهبود خلوص پولونیم ناموفق بود، در شکل ۱ تنها اولین مرحله جداسازی پولونیم را نشان داده ام؛ جداسازی آن از محلول HCl همراه با بیسموت و سایر سولفیدهای انحلال ناپذیر در اسید. برای عاری ساختن از آلود گیاهی مثل آنتیموان، آرسنیک، مس و سرب، این رسوب فعال بی درپی با آمونیوم سولفید، آب و آمونیوم نیترات شسته شد و بعد (به مقدار زیاد) در HNO_3 رقیق حل شد، حجم آن کاهش یافت و بالاخره برای تولید يك رسوب اکسید آپیوشیده رقیق شد. آن گاه رسوب اخیر طی چندین مرحله به ترتیب در HNO_3 حل و بار رقیق کردن رسوب گیری شد و محصول نهایی «در طیف بین چیزی بجز خطوط بیسموت نشان نداد» (ص ۳۱). «ولی این مشاهده» به طور قطع ثابت نمی کند که ماده بجز بیسموت هیچ ناخالصی دیگر نداشته باشد، زیرا اجسامی وجود دارند که واکنش طیفی آنها قابل تشخیص نیست» (ص ۳۲).

کوری بعد از اجرای يك سری از این نوع جداسازیه با اجبار نتیجه گیری کرد که «متأسفانه شانس موفقیت کمی در جداسازی پولونیم با این روش وجود دارد» (ص ۳۱). هر چند دلایل دیگری وجود داشت (بعد خواهد آمد) ولی دلیل اصلی ناموفق بودن جداسازیهای شیمیایی کوری این بود که اساس آنها را شباهت فرضی پولونیم به بیسموت تشکیل داده بود. قبل از کنار گذاشتن جستجوی پولونیم، کوری این نکته را بیان می کند که «من آثاری شیمیایی [در پولونیم] ملاحظه کرده ام که هرگز در... بیسموت مشاهده نکرده ام» (ص ۳۲).

کوری بعد از اینکه بخش عمده رساله خود را نوشته بود، در یادداشتی در يك پرانتز به کار تازه گزارش شده (دسامبر ۱۹۰۲) مارک والد اشاره می کند. طبق این یادداشت مارک والد به این نتیجه می رسد که «عنصر فعال به تلور وابسته است و نام رادیو تلور را به آن می دهد» (ص ۳۳). البته مارک والد در این مورد حق داشت ولی به نظر می رسد که ماری کوری از جسارت يك آلمانی در پیشنهاد نام دیگری برای عنصری که نام آن را از کشورش گرفته بود، آزرده شده باشد. او این یادداشت را با عبارت تندی به پایان می برد که «انتخاب نام تازه برای این ماده در این مرحله از کار، بی فایده است» (ص ۳۳). (سرانجام مارک والد کشف عنصر تازه توسط کوری را پذیرفت ولی خواص شیمیایی را که کوری به آن نسبت داده بود نپذیرفت. او نام رادیو تلور را در سال ۱۹۰۶ پس گرفت.)

کوری در جداسازی پولونیم نه تنها به دلایل شیمیایی بلکه به علت نیم عمر آن، ۱۳۸ روز، موفق نشد. غلظت تعادلی پولونیم در اورانیم تنها $(395 \times 10^9 / 4747) \times 138$ یا يك قسمت در 10^{10} است. بدین ترتیب، در يك تن کانه دارای ۵۰٪ اورانیم تنها حدود

۵g ۰۵۰۰ پولونیم وجود خواهد داشت. اوندانسته باعنصرتازه ای سروکار داشت که درمقادیر ناچیز یافت می شد.

علاوه بر این پدیده ویژه دیگری برای پولونیم در کار بود که جداسازی این عنصر را به وسیله روشهای شیمیایی سنتی با شکست مواجه می کرد. این روشها به خوبی در مورد رادیم که از نظر شیمیایی مشابه حقیقی فلز معمولی Ba بود و درمقادیر قابل توزین وجود داشت، کار ساز بودند.

به عنوان مثال، وقتی پولونیم هیدروکسید در مقادیر ناچیز و احتمالاً به صورت $\text{PoO}(\text{OH})_2$ از محلول آمونیاکی رسوبگیری می شود، تقریباً به طور کمی توسط $\text{Bi}(\text{OH})_3$ «حمل می شود» و پولونیم سولفید، PoS ، با سایر سولفیدها که از محلول اسیدی رسوبگیری می شوند «حمل می شود». با توجه به این شباهتها ماری کوری به این نتیجه رسید که خواص شیمیایی پولونیم را را وابسته به خواص بیسموت بداند. ولی در واقع پدیده «حمل کردن» بیشتر پدیده ای فیزیکی است تا شیمیایی؛ در غلظتهای کم حاصل ضرب انحلال پذیری $\text{PoO}(\text{OH})_2$ و PoS فزونی نمی یابد و رسوب کردن آنها با بیسموت رابطه فامیلی ساده ای را در جدول تناوبی منعکس نمی سازد.

مسئله ای که کار را برای گروه کوری باز هم مشکلتر می ساخت، جذب شدید این مقدار ناچیز Po توسط شیشه، از محلول اسیدی رقیق بود. خارج کردن این ماده با شستشو بسیار مشکل است. از آنجا که آشکارساز تابشی آنها به طور انحصاری برای نمونه های شیمیایی پودر شده طراحی شده بود، آنها هیچ راه ساده ای برای کنترل وسایل شیشه ای نداشتند، حتی اگر بر این باور می بودند که دلایل کافی برای این کار وجود دارد. بدین ترتیب کاهش فعالیت از طریق شیشه نامشخص باقی می ماند و به ظاهر به حساب ناپدید شدن غیر قابل توضیح پولونیم گذاشته می شد. در در سر این پدیده سطحی را برای کسانی که ذهن آنها بر اساس شیمی ماکروسکوپی کلاسیک شکل گرفته بود، تنهائی توان در ذهن مجسم کرد. به نظر می رسید که فعالیت پولونیم دم به دم از یک رسوب یا ظرف واکنش به دیگری مهاجرت می کرد.

در تمام این مدت، پولونیم بی وقفه از طریق تلاشی پرتوزا ناپدید می گشت. این امر کار را با باز هم مشکلتر می ساخت. واقعیتی که ماری کوری متوجه آن بود هر چند آن را درک نمی کرد: «... فعالیت پولونیم به محض استخراج از بیچیناند روبه کاهش می نهاد... [یک] نمونه بیسموت نیترات حاوی پولونیم... در طول ۱۱ ماه نصف فعالیت خود را از دست داد» (ص ۳۲). این نمونه ویژه به طور مسلم پارادیونوکلیدهای دیر پاتر آلوده شده بود، زیرا دیر پاترین ایزوتوپ Po ، ۱۳۸ روز یا تنها حدود چهار ماه و نیم عمر می کند.

فرض اینکه کاهش فعالیت پولونیم نماینده کاهش قدرت برخی خواص اتمی نامشخص بود تا کاهش تعداد اتمهای نشان دهنده آن خاصیت، برای کوری طبیعی بود، زیرا ناپدید شدن خود اتمهای فعال، یادست کم تبدیل آنها به سایر انواع اتمها که البته واقع امر بود، در آن زمان پذیرفتنی نبود.

انجبار تبدیل عناصر

در فاصله زمانی ۱۹۰۲ تا ۱۹۰۳ که خانواده کوری مشغول کارهایی بودند که در اینجا مورد بحث است، رادرفورد و سادی نشانه های

قویتری دال بر اینکه پرتوزایی در واقع مستلزم ناپدید شدن اتمها از طریق تبدیل بود، به چاپ می رساندند. ولی ماری کوری به این مفهوم در جهت رد یا قبول آن در رساله اشاره ای نکرد. این امر می توانست دوعلت داشته باشد. یکی اینکه در ارتباط نزدیک با کاری که اومی کردند بود، دوم اینکه چون نظری انقلابی و دوررس بود، بی میلی همیشگی اودر تفسیر رازهای بزرگتر غالب آمد.

با وجود این، حدود ۲۰ سال بعد در پانوشتی بر شرح حال ۱۹۲۳ پی کوری، وی اشاره می کند که در پیشنهاد مفهوم تبدیل هسته ای تقدم با اوست:

فرضیه ای که بنا بر آن پرتوزایی وابسته به انتقال اتمی عناصر است همراه با سایر فرضیه های ممکن قبل از اینکه توسط رادرفورد به کار گرفته شود، ابتدا توسط من و پی کوری در نظر گرفته شد (به Revue Scientifique, 1900, Mme Curie رجوع شود).

مقاله ۱۹۰۰ رونوشته يك سخنرانی است که کوری در سوربن در مقابل جلسه عمومی سالانه انجمن همکاری دوستان علوم* در ۱۴ ژوئن ۱۹۰۰ ایراد کرد. در این مقاله اودر واقع نشانه گذاریهای تقسیم پذیری اتمی و تغییر اتمی را بیان می کند، هر چند از ناپدید شدن واقعی یا تبدیل هسته ای اتمها سخنی به میان نمی آورد. او درباره يك «نظریه مادی پرتوزایی» مشابه با نشر پرتوهای کاتدی اندیشه می کرد. در نشر پرتوهای کاتدی

اتمها در يك حالت پایدار نیستند، زیرا ذرات کوچکتر از اتم نشر می کنند. اتم که از نظر شیمیایی تقسیم ناپذیر است در این مورد تقسیم پذیر است و زیر اتمها در حرکت اند. در این صورت يك تبدیل شیمیایی روی ماده پرتوزای انجام می گیرد که منبع انرژی تا پدیده شده است، ولی به طور یقین این يك تبدیل شیمیایی عادی نیست زیرا در تبدیلهای شیمیایی عادی اتم بدون تغییر باقی می ماند. در ماده پرتوزای اگر قرار است چیزی تغییر کند، آن چیز لزوماً اتم است، زیرا این اتم است که پرتوزایی به آن وابسته است.

به عبارت دیگر، او این فرضیه را ارائه می دهد که پرتوزایی ممکن است نوع تازه فرایند شیمیایی گرماده باشد که طی آن در واقع خود اتمها تغییر می کنند. در حالی که این فرضیه از فرضیه تبدیل اتمی ۱۹۰۲ سادی و رادرفورد نسبتاً فاصله دارد. علاوه بر این بکرل پیشتر نشان داده بود که پرتوهای بتا الکترونها هستند، با این همه فرضیه اش اندیشه بصیرانه ای بود که وی میل داشت نه به صورت نوشته بلکه به طور شفاهی در يك سخنرانی آنرا بیان کند.

با توجه به کاهش مداوم شدت تابش پولونیم، کوری نتیجه می گیرد که به دلایلی این عنصر «نمی تواند به طور نامحدود در يك حالت پرتوزای قوی وجود داشته باشد، این امر دست کم در شرایطی که از کانه استخراج می شود صادق است» (ص ۳۲). این اظهار پیشگویی از همان نوع پیشگوییهای است که در هر گوشه این رساله وجود دارد. امروزه می دانیم که پولونیم مثل سایر نوزادان پرتوزای اورانیم، تا زمانی که به طور پیوسته توسط مادر دیرپای

* Société de Secours des Amis des Sciences

خود تولید می‌شود، سطح فعالیت تعادلی خود را حفظ می‌کند. ولی به محض اینکه از نظر شیمیایی از مادر خود جدا شد تلاشی آن بانیم عمر خودش شروع می‌شود. بدین ترتیب با کانه بودن، در واقع از کاهش یافتن سطح فعالیت خود پولونیم جلوگیری می‌کند.

ولی متأسفانه کوری از آن پس به اندیشیدن درباره اینکه پولونیم دارای خاصیت منحصر به فرد و عجیبی است پرداخت؛ بدین معنی که در شرایط معینی به طور دائم پرتوزای شود، مثلاً از راه تماس با یک ماده پرتوزا در کانه پرتوزایی «القا شده» به دست می‌آورد و در برخی شرایط دیگر پرتوزایی خود را از دست می‌دهد. فصل چهارم رساله بحث مفصلی از فرضیه نادرستی را در بردارد که به ظاهر از آن پی‌یر کوری است. مطابق این فرضیه خاصیت پرتوزایی می‌تواند از یک ماده به ماده دیگر انتقال یابد.

نتیجه‌گیری

در ابتدایی‌ترین شرایط قابل تصور «آزمایشگاهی» در انباری واقع در یکی از کوچه‌های پاریس که سقف آن چکه می‌کرد، ماری اسکلودوسکا کوری و همکاران او پی‌یر کوری، گوستاو بومون^۱ و آندره دبیرن در گرمای تابستان و سرمای زمستان موفق شدند از چندتن ماده اولیه بسیار خالص خود جدا سازی کنند. جدا سازیهای شیمیایی و تبلورهای جزء به جزئی که آنها انجام دادند چیزی از یک عمل قهرمانانه کم نداشت. به کار بردن واژه «دلیر» برای توصیف زنی که این کار بسیار مشکل را طراحی و رهبری می‌کرد و سرانجام جان خود را بر سر آن گذاشت نه‌مبالغه است و نه بیش از حد افسانه‌ای. وی به خاطر اینکه به طور مداوم در معرض تابشهای مواد پرتوزا قرار گرفته بود در پایان عمر به سرطان خون مبتلا شد.

1. Gustave Bemont

* من فیلم *Madame Curie*, MGM, 1943 را به علت نمایش ترسیمی شرایط ابتدایی انباری که در آن کار می‌کردند و دامنه وسیع آزمایشها، توصیه می‌کنم.

در رساله دکترای کوری آزمایشهایی که اشاره شد به طور مفصل توصیف می‌شوند. این کار با واقع بینی علمی دقیق و پژوهشهای نظری کمی درباره ارتباط این آزمایشها با راز بزرگ انجام می‌گرفت. راز بزرگی که او و سایرین برای حل آن تلاش می‌کردند این بود که پرتوزایی چیست و منبع انرژی آن چه می‌باشد؟

شاید بهترین نشانه افکار کوری در باره این رازهای بزرگتر را طی دورانی که درگیر جدا سازی عناصر پرتوزای جدید بود، بتوان از نتیجه گیریهایش در سخنرانی ژوئن ۱۹۰۰ که در مقابل جامعه همکری دوستان علوم ایراد و پیش از این به آن اشاره شد به دست آورد. در این سخنرانی بعد از ارائه این فرضیه که پرتوزایی ممکن است نوعی واکنش شیمیایی غیر عادی باشد و طی آن، برخلاف اصل شیمیایی جاقانده تخریب ناپذیری اتمی، اتمها در واقع تغییر می‌کنند، او ادامه می‌دهد که شق دیگر چنین فرضیه‌ای (در نسخه ترجمه من) «کمتر گیج کننده نیست»: یعنی اینکه قانون بقای انرژی (اصل کارنو) در مورد «برخی پدیده‌های مولکولی» دیگر کاربرد ندارد و اینکه «مواد پرتوزا توان تبدیل گرمای محیط را به کار دارند.» کوری سخنرانی خود را با ذکر این جمله به پایان می‌برد:

این فرضیه همان ضربه سختی را به عقاید جاقانده فیزیک می‌زند که فرضیه تبدیل عناصر به اصول شیمی وارد می‌آورد و می‌توان دید که حل مسئله چندان هم ساده نیست.

حل مسئله در واقع ساده نبود. ولی طی حدود دو سال پاسخ مشخص می‌شد. همان گونه که این شیمیدان بزرگ به شک افتاده بود فیزیک برنده می‌شد و شیمی می‌باخت. اصل بقای انرژی استوار می‌ماند ولی اصل تخریب ناپذیری اتمی نه.

ترجمه اعظم رحیمی

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

مجله شیمی آگهی می‌پذیرد

مجله شیمی در زمینه ارائه خدمات علمی و فنی (تحقیقات، مشاوره، طراحی، نظارت، و اجرا) و عرضه داروها، وسایل آزمایشگاهی، تجهیزات و ماشین آلات صنعتی آگهی می‌پذیرد.