بخش دوم

سلاح هسته‌ای

۱

انرژی هسته‌ای

(لازم به‌تذکر است که‌برای‌پیگیری دنبالهٔ بحث در این بخش مطالعهٔ این فصل ضروری نیست).

ماده، همانطورکه می‌دانیم، به‌حالتهای‌جامد، مایع و گاز یافت‌می‌شود—از اجزا یا اتمهایی—تشکیل‌شده که‌آنها نیز به‌نوبهٔ‌خوداز هسته و الکترونهاتشکیل گردیده‌اند. این مدل اتمی پذیرفته شده که پاسخگوی بسیاری از مسائل‌مطرح شده بوده است، اتم را ذره‌ای می‌داند که هسته‌ای در قسمت مرکزی آن قرار دارد و الکترونها در مدارهای الکترونی‌مختلف، همچون گردش سیارات به‌دور خورشید، درگردشند و عملاً تمامی‌جرم اتم به‌استثنای مقدار بسیار اندکی که در الکترونها پخش شده، در هستهٔ آن‌متمرکز است.

اتم یا «جزءلایتجزا» دیگر آن جزء تقسیم‌ناپذیری نیست که درگذشته بدان معتقد بودند و به‌همین سبب آن را اتم‌نامیدند، بلکه چنانکه می‌دانیم اتم به‌هسته و الکترونهایی که به‌گرد آن‌می‌چرخند، تقسیم‌می‌شود. هسته نیز به‌نوبهٔ خود از اجزای کوچکتری تشکیل شده است که تاکنون تعدادی از این ذرات کشف شده و مطالعات و آزمایشهای گسترده‌ای درجهت شناسایی دنیای درون اتم جریان دارد، تا تصویری کاملتراز ذرات گوناگون داخل اتم و روابط موجود بین آنها، بدست آید.

هرچند این تحقیقات در زمینهٔ شناخت دنیای درون اتم، با موفقیتهای درخشانی همراه بوده است، اما دانشمندان در تعیین و تعریف ماهیت و طبیعت گوناگون آن، از جمله تشعشعات‌مختلف و میدانهای جاذبه و غیره نظریات‌مختلفی ارائه کرده‌اند.

مهمترین اجزای مادی موجود در هسته که خود از اجزای کوچکتری که پدانها اشاره رفت، تشکیل شده‌اند عبارتند:

پروتون: ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت؛

نوترون: همانگونه که از نامش پیداست ذره‌ای است که غالباً از لحاظ الکتریسیته خنثی است؛

مزون: و بویژه (مزون- B) که گمان می‌رود در هسته، نقش پیونددهنده پروتونها و نوترونها را به‌یکدیگر برعهده دارد[1]. و به‌احتمال زیاد همین بخش، منبع اصلی آن انرژی عظیمی است که به‌گونه‌ای بنیان‌کن با چنان سرعت دهشتناکی همه چیز را با انفجار هسته‌ای— مانند بمب هیروشیما و ناکازاکی— و حرارتی - هسته‌ای (بمب هیدروژنی)، نابود می‌سازد[2].

پروتون و نوترون بایک نام لاتین «نوکلون» که نشانگر جای آنها در هسته‌اتم است شناخته می‌شوند؛ درازای هرپروتون در هسته، یک‌الکترون درمدار الکترونی گرداگرد آن، وجود دارد که حامل مقدار بارالکتریکی منفی معادل بار مثبت پروتون است و به‌این دلیل که اتم در حالتهای عادی از لحاظ الکتریسیته خنثی است و الکتریسیته مثبت در پروتونهای هسته با الکتریسیته منفی الکترونها — که گفتیم، در حالتهای عادی از لحاظ تعداد یکسانند— برابر است و جرم‌مادی هرکدام از پروتونها و نوترونها ۱۸۳۶ بار بیش از جرم الکترون است، ماده با تنوعی که در ترکیب نوکلونهای آن پدید می‌آید به‌مادهٔ دیگری تبدیل می‌شود.

هر عنصر تعداد معینی از نوترون و پروتون دارد، مانند ئیدروژن که سبکترین عناصر مادی است؛ هستهٔ آن تنها از یک پروتون تشکیل شده که به‌ازای آن یک الکترون دریکی از مدارهای الکترونی— بسته به‌انرژیی که‌دارد— به‌دور آن می‌گردد. دوتریوم یا «ئیدروژن سنگین» هم که با اکسیژن تشکیل آب می‌دهد، هسته آن دارای یک پروتون و یک نوترون بود، که یک الکترون در ازای پروتونی که دارد به‌دور هسته گردش می‌کند. هستهٔ اتم اورانیوم ۲۳۸، که ۹۲ پروتون و ۱۴۶ نوترون است، از سنگینترین اتمها بشمار می‌رود و معمولاً مطالعات و بررسیهای اتمی زیادی در اتم این عنصر انجام می‌شود.

الکترونها در مدارهایی به‌دور هسته قرار دارند و دومدار آخر و بویژه دورترین مدار از هسته— که محیط خارجی اتم را تشکیل می‌دهد— ویژگیهای

---

۱. شولکین، جهان ذرات، ص ۶۶ و ۹۳.

۲. همان مدرك، ص ۱۷۸-۱۶۸

شیمیایی ماده را معین می‌سازند و آنگاه که اتم الکترونهای خود را از دست می‌دهد، باتوجه به‌تعداد الکترونهایی که‌از دست داده — یک، دو، سه،...بار—، «یونیده» می‌شود.

خصوصیات اتمی عناصر مختلف، همگی در جدول تناوبی مندلیف منظم شده‌اند، زیرا همه آنها از لحاظ هسته‌ای از ذراتی تشکیل یافته‌اند که‌مهمترینشان پروتون و نوترون و الکترون است. برای مثال، اگر عنصری از ذرات خاصی ترکیب می‌یافت که تنها متعلق به‌نوع خودش بود و با ذرات تشکیل دهندهٔ مواد دیگر تفاوت داشت، امکان نداشت بتوان انواع مختلف عناصر را در یک جدول تناوبی مرتب و آن روابطی که اکنون می‌شناسیم، در میانشان برقرار کرد.

در وهلهٔ نخست چنین به‌نظرمان می‌رسد که تمامی این عناصر دارای ترکیب مشابهی در هستهٔ خود هستند که اختلاف عناصر با هم تنها در تعداد پروتونها و نوترونهایی است که هسته از آنها تشکیل یافته است.

در مطالعات اتمی، فرضیه‌ها حاکی از آن است که هسته در اتم، تنها تراکم تعدادی پروتون— از اتمهای ئیدروژن— است که برخی از آنها به‌تعداد مناسبی الکترون پیوسته و از لحاظ الکتریکی به‌تعادل رسیده و تبدیل به‌نوترون می‌شوند، ولی فیزیک هسته‌ای قابلیت تبدیل عناصر «رادیواکتیو»[1] به‌عناصر دیگر ثابت کرده است: به‌عنوان مثال در تشعشعات «الفا» جسم تشعشع کننده به‌عنصر جدیدی تبدیل می‌شود، زیرا دو پروتون از هستهٔ خود را از دست‌می‌دهد و با فقدان ذرهٔ هلیومی که همراه با اشعهٔ الفا از دست داده، در جدول‌مندلیف دوخانه به‌عقب باز می‌گردد، ولی در تشعشع «بتا» که از الکترونهایی تشکیل یافته که بوسیله هسته آزاد شده‌اند، هرنوترونی که یک الکترون از دست بدهد تبدیل به‌پروتون می‌شود و به‌این سبب عنصر اتمی مزبور در جدول مندلیف در خانه بعدی جای می‌گیرد، زیرا ترتیب عناصر دراین جدول طبق افزایش تعداد پروتونهای آنهاست.

آنچه امروزه، به‌دنبال مطالعات و بررسیهای گوناگون نظری وآزمایشها و رصدهای فضا — فیزیکی، مسلم شده است، این است که برخی اجسام براثر واکنشهای اتمی مناسبی ،بوجود می‌آیند و مانند واکنشهای دوره‌ای— هسته‌ای که در خورشید باتحد شدن هسته‌های ئیدروژنی (پروتون) با هستهٔ کربن آغاز می‌شوند و سپس با تبدیل هسته «ایزوتوپ‌ازت ۱۵» پس از اتحاد با هستهٔ ئیدروژنی— به کربن و هلیوم خاتمه می‌پذیرند، نشانگر تشکیل‌مادهٔ جدیدی— که هلیوم باشد— از طریق یک سلسله واکنشهای اتمی پیچیده‌ای است که با کربن آغاز و بدان هم خاتمه می‌پذیرد.

انسان همچنین توانسته است از طریق انفجار بمبهای هسته‌ای و نیز در نیروگاههای اتمی، اتم برخی عناصر رادیواکتیو «مثلاً اورانیوم ۲۳۵» را آزاد سازد و یا عناصر ساده‌تر دیگری بوجود آورد. همهٔ اینها ساختنی است، ولی مطالعات و بررسیهای اخیر ثابت می‌کنند که اجزای اولیه، آنچنان که در برخی فرضیه‌های نخستین تصور می‌شد، ساده نیستند و هسته تنها تراکم سادهٔ تعدادی نوترون و پروتون نیست بلکه سیستم بسیار پیچیده‌ای است که بر[پیوند متقابل] بسیاری از ذرات مادی که تاکنون انواع گوناگون آن کشف شده، استوار است. و اینکه یک پروتون (یا نوترون) نیز خود سیستم مادی پیچیده‌ای است؛ وضع ذرات کوچک دیگر مانند «مزون»ها و «میون»ها نیز چنین است.

تماسی واکنشهای اتمی ـ شیمیایی که در خورشید و در دیگر ستارگان بوقوع می‌پیوندد و نیز آنچه را که ما برروی زمین بعمل می‌آوریم، همگی در چارچوب مادی این هستی که شامل انواع عناصر شناخته شده و ناشناخته‌جدول مندلیف می‌شود، صورت می‌گیرند و این بدان معناست که وجود انواع مختلف این عناصر و روابط موجود در آنها شرایط و زمینهٔ لازم را برای ایجاد واکنشهای اتمی فعلی فراهم می‌آورند. آن‌گونه نیست که واکنشهای اتمی، علت ایجاد این عناصر طبیعی و با شروع از ساده‌ترین آنها یعنی ئیدروژن، باشد. بدیهی است که واکنشهای اتمی، به‌وجود انواع مختلف هسته، بستگی تام دارد و آنگاه که دیگر هسته‌ای وجود نداشته باشد امکان هیچگونه واکنش اتمی نیز وجود نخواهد داشت. باتوجه به‌اینکه حرکت روبه‌رشد جهان مادی در تکامل و تطور خود، آن چنان کند است که‌مشکل بتوان با راهها و ابزارهای عادی آن را ملاحظه کرد، این واکنش در مرحلهٔ خاصی ازنشو و تکامل‌ماده [و دقیقاً] در مرحلهٔ کنونی جهان‌هستی، بوقوع می‌پیوندد.

گفتیم که هر ماده برحسب ساختمان اتمی خود، از مواد دیگر متمایز می‌شود؛ هر ماده شامل تعداد معینی پروتون و نوترون یا ذرات مادی دیگری که دارای جرم ساکن هستند، می‌باشد. هرماده‌ای به روشی مخصوص وطی عملیات شگرف و عظیم تکامل هستی، ایجاد شده و رشد یافته است و در عین حال تماسی عناصر مادی در یک مرحله از مراحل تکاملی جهان‌هستی از طریق ساختمان پیچیدهٔ خود، سنخیتی میان خود دارند. حال اگر عناصر مذکور درهم یکی شده یا در مواد تشکیل دهندهٔ خود وجه اشتراکی پیدا کردند، این بدان معنا نیست که آنها از یک نوع هستند و از راههای «مکانیکی» ساده‌ای قابل تبدیل به‌نوع دیگری هستند، بلکه همچنان که گفتیم گونه‌های مختلفی راتشکیل می‌دهند که واکنشها و روابط حاکم بر آنها، موجب رشد و گسترش آنها می‌شوند.

در مثال فوق‌الذکر دیدیم که تشکیل «هلیوم٤» در خورشید، در نتیجه یک سلسله واکنشهای پیچیدهٔ اتمی صورت می‌گیرد که با کربن آغاز و ضمن گذشتن از برخی «ایزوتوپها» به‌همان کربن ختم می‌شود و چنین نیست که به‌طور مستقیم از اجتماع دو پروتون و دو نوترون، پدیدآمده باشد، چه، این نوکلونهای چهارگانه در واکنشهای مزبور از هستهٔ عناصری که طی یک سلسله واکنشهای پیچیدهٔ اتمی، از میان رفته بودند، گذشته و در نتیجهٔ «هلیوم» ظاهر شده است؛ که گویا هسته‌ها در آن «هضم» شده‌بود. و این بدان معناست که از هسته‌های مختلف این عنصر [هلیم] عنصری به‌سراتب سنگینتر از هستهٔ آن بوجود آمده است.

در اینجا می‌توان به‌سادگی تفاوت ماهوی عظیمی را دریافت که میان سلسله واکنشهای اتمی نامبرده از یک‌سو و پدیدهٔ تشعشع هلیم (اشعهٔ آلفا) — از اجسامی‌با هسته‌های نامتعادل — از سوی دیگر وجود دارد، فعل و انفعالاتی که به‌هلیم منجر می‌شود به‌سفهوم ایجاد، تولید و آفرینش در یک شرایط‌خارجی — شرایط موجود در خورشید— است که [این شرایط خارجی] تأثیر بسزایی در صورت گرفتن آن داشته است ولی پدیدهٔ تشعشع هلیم عمل جاخالی‌کردن «اضافاتی» به‌صورت تشعشع «پرتوافشانی» در شرایط داخلی که مطلقاً ربطی به محیط ندارند، است که تعادل هسته را برهم می‌زنند و این پرتوافشانی تشعشع در تمام شرایطی که هستهٔ پرتوافشان (رادیواکتیو) وجود دارد ادامه می‌یابد، ولی با این وجود هرکدام از این دو فعل و انفعال خود مثالی برخروج هستهٔ ساده از هستهٔ سنگینی است که لزوماً این یک، از بهم‌پیوستن تعداد مناسبی از آن‌بوجود نیامده است، و حتی هنگامی که فرضیهٔ دوم ایجاد واکنشهای اتمی در ستارگان را (مبنی براینکه دو هسته (دو پروتون) از ئیدروژن در شرایط موجود در اعماق خورشید— و نه سطح آن— بهم رسیده تشکیل ئیدروژن سنگین (دوتریوم) می‌دهند و این بهم‌رسیدنها و برخوردها و تشکیل اجسام سنگینتر با همان خشت نخستین (پروتون)، آغاز گشته و همچنان ادامه‌می‌یابد)ملاك قرار دهیم می‌بینیم که ناگزیر باید شرایط اعماق خورشید و واکنشهای اتمی عناصر سنگینتر نزدیک به‌سطح خورشیدی که این محیط را دربرگرفته‌اند—یعنی از آن نوع که در سلسلهٔ واکنشهای فوق‌الذکر دیدیم— وجود داشته‌باشد تا شرایط لازم برای این واکنش نسبتاً ساده فراهم آید.

در بحثی که درپیش‌رو داریم، خواهیم دید که«ذوب» حرارتی ـ هسته‌ای ئیدروژن سنگین (از بمب ئیدروژنی) در شرایط انفجار شکافت هسته‌ای، عنصر واقعاً سنگینی همچون «اورانیوم ۲۳۵» حاصل می‌شود و این فعل و انفعالات، کاملاً شبیه به واکنشهای فوق‌الذکر در اعماق خورشید است که در شرایط

جریان فشار واکنشهای هسته‌ای از سطح تا مرکز آن صورت می‌گیرد، درنتیجه می‌توانیم قوانین ذیل را برای مادهٔ فیزیکی درهستی، برشمریم:

۱. علاوه برتمام زنجیره‌های تکاملی موجودات مادی‌هستی، حرکت‌خلق و آفرینش کلی‌تری هست که وجود این موجودات‌بسته به‌آن است؛ این حرکت، هستی را از یک «گونه» به‌«گونهٔ» دیگر متحول می‌سازد، هر«گونه» از این گونه‌ها، نظام و موجودات متناسب باخود را دارند که طی زنجیره‌های تطوری نامبرده، آفریده شده و ارتقا می‌یابند.

۲. درگونه‌ای از گونه‌های هستی، تمام اشکال ماده در شرایط عمومی خود و نقشی که برعهده دارند، جای می‌شوند و هریک از آنها یک دفعه آغاز یک واکنش و باردیگر پایان واکنش دیگری است و یا آغاز و پایانی برای یک سلسله واکنشهای مادی پیچیده و یا از این قبیل است؛ سادگی، پیچیدگی ترکیب اجزای ماده تفاوتی دراین روند بجای نمی‌گذارد.

۳. تمامی سیستمهایی که مادهٔ هستی، درگونهٔ فعلی خود در آن بوجود می‌آید و هرآنچه موجودات مادی که از آن سیستمها منتج می‌شود همگی شرایط ضروری برای فراهم آمدن هرگونه واکنش اتمی را بوجود می‌آورند.

ماده وانرژی

انرژی عبارت از هرگونه امکان ماده برای تولید کار فیزیکی است، این امکان (انرژی) اشکال مختلفی از جمله، حرکتی، الکتریکی، حرارتی و غیره بخود می‌گیرد مانند یک جسم در حال حرکت عملاً قادر به بالابردن جسمی دیگر تا ارتفاعی متناسب با انرژی حرکتی خود، می‌باشد و بطورکلی هرعمل ماده ناگزیر باید از انرژی مولد قدرت‌انجام آن عمل، ناشی شده باشد؛ و بدیهی است که مادهٔ مجرد از هرکنش (یا واکنشی)— و در نتیجه، مجرد از انرژی— فاقد وجود فیزیکی است، به‌عبارت دیگر از نظر فیزیکی وجود ندارد.

وقتی ماده مطلقاً فاقد هرنوع کنش و واکنشی باشد، شکل، چارچوب و حدود خود را از دست می‌دهد و به‌همراه آن خودش نیز معدوم می‌شود.

عکس این حالت نیز درست است، انرژی بدون ماده، وجود ندارد همچنان که از مادهٔ دارای انرژی، تنها نیرویی ساطع می‌شود، نیرو و از آنجا انرژی، نمودهای هستی [ماده]اند. به‌دلیل وجود ماده است که نیرو و انرژی وجود می‌یابند و این «هستی»تنها به‌معنای وجود فیزیکی ماده است. مانند نور، که یکی از اشکال ماده است و آن چنان که برخی تصور می‌کنند تنها انرژی

الکترومنیتیک نیست، چراکه با اجرام مادی جاذبهٔ متقابل دارد و به‌عنوان مثال وقتی در مسیر اصلی خود از نزدیکی جرم خورشید می‌گذرد منحرف شده واکنشی بوقوع می‌پیوندد.

مکانیک کلاسیک دارای دو اصل بقای ماده و انرژی است: یکی مربوط به‌انرژی و دیگری متعلق به‌ماده است که با مقدار جرم آن سنجیده می‌شود. وقتی یک نوع انرژی پنهان شود نوعی دیگر معادل با آن نمایان می‌شود و آنگاه که جرمی از هرماده‌ای ناپدید شود، جرمی به‌همان اندازه از آن بروزمی کند و اینها مطابق اصل یا قانون بقای جرم (ماده) لاوازیه — «هیچ چیز از بین نمی‌رود و هیچ شیئی از (هیچ) آفریده نمی‌شود»— و طبق قانون تبدیل‌انرژی و بقای آن در این تبدیل است. اما در «مکانیک‌نسبی» تنها یک اصل برای بقای ماده و انرژی وجود دارد که بخاطر انرژی عمومی یک توده جدا شده به اعتبار برابری انرژی و جرم و امکان تبدیل آنها به‌یکدیگر برطبق قانون«انرژی بنیادی» است که انشتین واضع آن بود: «هرجسم فیزیکی در حالت سکون‌دارای انرژی (E) است درعین حال دارای جرم بنیادی «m_0» است که از رابطهٔ $m_0 = \frac{E_0}{C^2}$ بدست‌می‌آید، (C) سرعت نور است.»

این اصل به‌گونه‌ای تفسیر شد که تبدیل ماده به‌انرژی و انرژی به‌ماده از آن نتیجه می‌شد: «نقش اساسی که انرژی بنیادی در مطالعات پدیده‌های‌اتمی که موضوع بسیاری‌از مباحث فیزیک مدرن است دارد، درك می‌شود، همچنان که از این پس چگونگی تجسم انرژی در پاره‌های ماده از یکسو و شیوهٔ از میان‌رفتن ماده برای رهایی مقادیر عظیمی انرژی معادل خود از سوی دیگر روشن می‌شود».

ولی آنچه بدیهی و درعین حال واقعیت دارد این است که: ماده، نه از بین رفتنی است و نه با به‌زبان آوردن توان تبدیل آن به‌انرژی— بدون وجود عینیتی برای تحول شیئی از قوه به‌فعل— چیزی تحقق می‌یابد. همچنان که انرژی نیز نمی‌تواند به‌ماده‌ای فیزیکی «جسم» تبدیل شود و ناگزیر باید تنها به‌صورت «بالفعل» جسم باشد و معنای تبدیل و تحولش این نیست که به‌صورت جسم دیگری— غیر از جسمی که مجرد از انرژی شده است— درآید ولی مادهٔ فیزیکی از یک حالت به‌حالت دیگر تبدیل می‌شود و در هر «حالت» تابع قوانین مربوطه‌ای است که در جریان پدیده‌های ویژه‌ای— که در آن، مادهٔ فیزیکی در حالت نوین خود تجلی می‌کند— مطرح می‌شوند و این بدان معناست که دریکی از این حالتها اگر نشانه‌ها و خواصی که نمایانگر مادهٔ فیزیکی است پدیدار

نشوند باید آن را در نشانه‌ها و خواص دیگری متناسب با حالت جدید ماده جستجو کرد، مانند نشانه‌ها و خواص ماده در حالت نوری، با حالتهای عادی سه‌گانه: جامد، مایع و گاز متفاوت است و در آن «حالت» آن چنانکه در این حالتهای عادی می‌توان لمس و مشاهده کرد [نشانه‌ها و خواص ماده] قابل لمس و مشاهد نخواهند بود. یعنی آن چنانکه در یک سنگ تجسم می‌یابند نمی‌تواند در یک اشعه نوری تجلی پیدا کند.

با این وجود، اشعهٔ نوری دارای «جرمی» است که مقدار مادهٔ موجود در آن را معین می‌سازد. در یک روز آفتابی، حجم یک کیلومتر مکعب از نور یک صدمیلیونیوم میلی‌گرم [$۱/۱۰^{-۱۴}$ kg] وزن دارد ولی همین وزن در درجه‌حرارت بسیار بالایی که در مرکز خورشید یا در مرکز یک انفجار هسته‌ای وجود دارد به‌میزان بسیار زیادی می‌رسد و وزن هرلیتر آن (۱۰۰۰۰۰۰۰) به‌یک گرم می‌رسد، به‌عبارت دیگر هر کیلومترمکعب‌نور، یک‌میلیون تن[۱×۱۰^{۹} kg] وزن‌دارد[۱].

تنها از طریق کنشها و واکنشهای مادهٔ فیزیکی و در جریان آثار حاصل‌از واکنشها است که می‌توان بدان دست یافت، بنابراین انواع واکنشهای مختلف، خود نشانگر محتوای اصلی تمام «حالت»های «تکاملی» آن است.

همچنین نمی‌توان هرپدیده و فرمی را— یعنی واکنشهایی که صورتها و پدیده‌ها از طریق تأثیر انرژی ماده برآنها صورت می‌گیرند— تنها با نادیده‌گرفتن ماده و عدم لمس احساس آن و بدون درنظرگرفتن انرژی آن «از میان برد».

همچنان که پیش از این گفتیم، بدیهی است هرگونه از بین بردن واکنشهای ماده و انرژی موجود در آن به‌مفهوم از میان‌بردن خود آن است، و از آنجا به‌سادگی قابل درک است که امکان ندارد بتوان بدون استناد به واکنشها— بدون یاری گرفتن از بازده انرژی آن— دست به‌کاری برای تعیین کمیت ماده زد، در این صورت جرم‌حاصله‌از تعیین میزان کمیت ماده در تعیین‌کنندهٔ مقدار انرژی است که، واکنش مورد بحثی که تعیین جرم براساس آن صورت گرفته، بکار برده است و تمام اجزای مادهٔ موردنظر— بطور یکسان— در «هستی» آن نقش داشته‌اند. برای اینکه تعیین کمیت ماده درست و به‌طور کامل صورت گیرد حتماً باید تمام اجزای آن در این کار دخالت داده شوند و باید انرژی دو جزء که کمیت یکسان دارند، باهم برابر باشند. از سوی دیگر بسادگی می‌توان دریافت که انرژی کلی هر مادهٔ فیزیکی— مجموع انرژیهای گوناگون آن: حرکتی، الکتریکی، هسته‌ای و غیره— به‌استناد اصل بدیهی و

---

۱. دایرةالمعارف بریتانیکا، ج ۶، ص ۵۷۸، ۱۹۶۵.

ساده‌ای که ذیلاً بیان می‌شود متناسب است: هرمقدار از ماده، دارای یک‌مقدار انرژی کلی است که هستی آن قائم به‌وجود آن است— تمام ابعاد کمی‌و کیفی هستی‌اش را مشخص می‌کند— و تنها با تغییر کمی‌و کیفی این هستی است که تغییر پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یک معادلهٔ سادهٔ (خطی) میان انرژی کلی ماده و هر انرژی بوجودآورندهٔ واکنشی که اجزای کمی مساوی آن، مشترکاً در آن سهیم‌اند— مانند انرژی فوق که جرم را بدان می‌سنجند— وجود دارد. نتیجتاً به‌فرمول انشتین می‌رسیم که در صفحات قبل به‌آن اشاره داشتیم و می‌توانیم به‌این صورت آن را درآوریم: «$E=mc^2$» .

در اینجا می‌بینیم که انرژی کلی ماده«E» که بوسیله این رابطهٔ ساده به انرژی کمیت آن «M» بستگی دارد، مقیاسی برای کمیت ماده است که آن را جرم ماده می‌نامیم، بنابراین برخلاف تفسیر و درک نادرست از رابطهٔ نامبرده که براساس آن گفته می‌شود، ماده به‌انرژی و انرژی به‌ماده تبدیل می‌شود، هیچ چیز شگفتی وجود ندارد.

همچنان که در فرمول انشتین($E=mc^2$)می‌بینیم انرژی کلی ماده رقم بسیار بزرگی است ولی سیستمهای گوناگونی که مادهٔ جهان‌هستی را مقید می‌کنند با انرژی عظیم خود آن را محدود می‌سازند، بخش بزرگی از آنها نقش پیوندی در سیستمهای نامبرده و یا نقش انواع سدها برای محدود ساختن آن را ایفا می‌کنند، حتی واکنشهای اتمی نیز ماده را از تمامی پیوندها آزاد نمی‌سازند تا بتواند باتمام انرژی خود عمل کند. در این واکنشها تنها جزء بسیار کوچکی از پیوندها رها می‌شوند و باعث می‌گردند که انفجار مهیبی بوقوع بپیوندد.

پدیدهٔ«کاهش جرم» در هستهٔ ماده استدلال تجربی براین نکته استوار است و آشکار است که جرم هسته،کمتر از مجموع جرم‌نوکلونهایی— نوترونها و پروتونها— است که آن‌را تشکیل می‌دهند، آن هم به‌این‌دلیل که این‌ذرات هنگامی که برای تشکیل هسته «بهم می‌پیوندند» انرژی مربوط به‌مواد گوناگون رهاشده از آن را، آزاد می‌کند، این مواد استخوانبندی سیستم قبلی ذرات، پیش از تشکیل سیستم هسته‌ای آن بودند— نقش پیونددهی در سیستم پیشین را ایفا می‌کردند— ولی پس از ایجاد این سیستم— که دارای پیوندهای‌خاص خویش است— دیگر نیازی به‌آنها نیست، آزاد می‌شوند تا از رهایی آنها، آن واکنش سهمگین، بوقوع بپیوندد، مانند هستهٔ ئیدروژن سنگین (دوتریوم) از دو ذرهٔ پروتون و نوترون تشکیل شده که مجموع وزن آن دو (۲/۰۱۶۶٤)از واحد فرضی است در حالی که وزن کل هسته (۲/۰۱٤۱۲) است یعنی به‌خاطر «پیوندخوردن» نوترون و پروتون در هستهٔ ئیدروژن سنگین، کاهش جرمی به

اندازهٔ (۰/۰۰۲۵۲)واحد فرضی داریم و با توجه به‌فرمول انشتین می‌بینیم که انرژی کلی این مقدار مادهٔ رهاشده، به۲/٤ مگاالکترون ولت بالغ می‌شود[۱].

از این ویژگی در انفجارات هسته‌ای- حرارتی، استفاده می‌شود و انواع مختلفی از نیروهای عظیم — امواج حرارتی- نوری، امواج الکترومنیتیک وغیره و غبارهای اتمی که‌باسرعت‌سرسام‌آور درحرکتند و...—را ایجاد می‌کنند: نیروهای شگرفی که نقطهٔ انفجار را دربرمی‌گیرند و «ترکشهای خود» را با سرعتی‌سرسام‌آور تا مسافتهای بسیار دور پرتاب می‌کنند.

ارقام، تعاریف و اصول[۲]

در ذیل به‌اطلاعات اولیهٔ مربوط به‌جهان اتم یا چنانکه گفته می‌شود «جهان ذرات» می‌پردازیم:

هرگرم ازئیدروژن دارای $۱۰^{۲۳} \times ۶/۰۲$، یعنی از مرتبهٔ صدهزارمیلیاردم، اتم است و از آنجاجرم اتمی ئیدروژن (پروتون و نوترون) برابر با $۱۰^{-۲۴} \times ۱/۶۷$، یعنی ازردهٔ ۲ واحداز میلیون‌میلیاردمیلیاردم جزءازیک گرم است[$۱۰^{۲۳} \times ۶/۰۲ \times ۱$:].

— جرم الکترون که گفتیم $\frac{۱}{۱۸۳۶}$ جرم پروتون (اتم ئیدروژن) است $۱۰^{-۲۸} \times ۹/۱$، یعنی یک‌واحد از میلیاردمیلیاردم گرم است.

— ضخامت اتم ئیدروژن از مرتبهٔ انگستروم برابر یک‌صدمیلیونیوم‌سانتیمتر یعنی $۱۰^{-۸}$cm است ولی نصف قطر هستهٔ ئیدروژن (پروتون و نیز نوترون) $۱۰^{-۱۳} \times ۱/۳$cm، یعنی برابر ۱/۳ فرمی — به‌نام دانشمند ایتالیایی انریکو فرمی— است با این واحد ابعاد درونی هسته اندازه گرفته می‌شود. این واحد برابر یک ده‌هزار میلیاردم سانتیمتر است.

— وزن مخصوص در نوکلون برابر $۱۰^{۱۴} \times ۲$گرم در سانتیمتر مکعب، یعنی معادل دویست‌میلیون تن در سانتیمتر مکعب است و طبیعی است این رقم وزن ماده در هرنوع هستهٔ اتم آن است.

«دین» نیرویی است که سرعت جرمی به‌وزن یک گرم را درهرثانیه یک سانتیمتر افزایش دهد[۳]. و بهنگام انتقال این نیرو به‌اندازهٔ یک سانتیمتر «کاری»

---

۱. دایرةالمعارف بریتانیکا، ج ۱۶، ۱۹۶۵.

۲. سولکین، جهان ذرات.

۳. «دین» واحد نیرو در سلسلهٔ (سانتیمتر، گرم، ثانیه) که به‌موجب تعریف، ←

معادل انرژی یک «ارگ» تولید شده است.

— وقتی الکترون از لایهٔ اصلی خود به‌لایهٔ با انرژی یک‌ولت بیشترمی‌رود معادل یک الکترون ولت(ev) انرژی کسب می‌کند این واحد جدید انرژی معادل^{۱۲} $۱/۶ \times ۱۰^{-}$ یعنی دوهزارمیلیاردم «ارگ» است» این یک واحد بسیار کوچک انرژی است، لذا اضعاف آن، کیلوالکترون ولت (Kev) هزار برابر و مگاالکترون ولت (Mev)، یک میلیون برابر، بکار برده می‌شود.

— در اتم، نیروی هسته‌ای، الکتریکی، مغیتیکی و جاذبه‌ای وجود دارد. نیروی هسته‌ای قدرتمندترین این نیروهاست و برای مثال می‌بینیم که نیروی هسته‌ای در مسافت یک فرمی آن، ۳۰ برابر نیروی الکتریکی همان نقطه و صدمیلیارد میلیاردمیلیارد ($۱۰^{۳۸}$) برابر نیروی جاذبهٔ آن است.

— هنگامی که هستهٔ سنگین، یک نوترون دریافت می‌کند، تعادل‌لرزان آن کاملاً بهم می‌خورد، و به‌جای اینکه تنها به‌تشعشع تعدادی نوکلون— آن چنانکه در هستهٔ سبک صورت می‌گیرد— بپردازد به‌دوهسته با جرمهای‌نزدیک به‌هم تقسیم می‌شود، به‌این پدیده «شکافت هسته‌ای» می‌گویند مانند اینکه اورانیوم ۲۳۵، با رهایی تعدادی پروتون به‌کریپتون ۸۴ و باریوم ۱۳۷ تقسیم می‌شود.

محاسبات و اندازه‌گیریها نشان می‌دهند که تقسیم هر اتم اورانیوم ۲۳۵، معمولاً دویست مگاالکترون‌ولت انرژی بدست می‌دهد. از لحاظ تئوری و باتوجه به‌ارقام مربوطه که در بالا به‌آنها اشاره شد می‌بینیم که شکافتن یک گرم از اتمهای اورانیوم نامبرده، نزدیک به‌صد میلیون کیلو «ژول» انرژی ایجادمی‌کند که سه‌چهارم آن حرکتی است که پاره‌های ناشی از شکافته شدن هسته را با نیرویی صاعقه‌وار، پرت می‌کند.

به‌عنوان مثال فرض می‌کنیم با شکافتن هستهٔ یک اتم از اورانیوم۲۳۵، سه‌نوترون رها شده است و هرکدام از این نوترونها به‌هستهٔ جدیدی‌در این فلز اصابت‌کرده و این هسته را شکافته و هربار سه‌نوترون آزاد شده باشد و اینها نیز به‌نوبه خود همین را تکرارکرده باشند، در چنین حالتی تعداد هسته‌های شکافته شده تشکیل یک تصاعد هندسی را می‌دهند:

۳ ۹ ۲۷ ۸۱ ۲۷۳ ۷۲۹و...

این پدیده به«واکنش پیاپی هسته‌ای» موسوم است. اساس واکنشهای اتمی

→ نیرویی است که چون به جرم یک‌گرمی وارد شود یک سانتیمتر در ثانیه، به آن شتاب می‌دهد، از (دایرةالمعارف مصاحب)-م.

و تولید بمب هسته‌ای براین خاصیت استوار است.

ایزوتوپها

اجسامی که در خواص شیمیایی، مشابه به‌یکدیگرند و اختلافی جز در تعداد نوترونهای هستهٔ آنها وجود نداشته باشد ایزوتوپ [یکدیگر] نامیده می‌شود. به‌دنبال مطالعات گسترده این نتیجه بدست آمده است که تمام اجسام (رادیو اکتیو و غیررادیواکتیو) ایزوتوپ دارند (هرچند — مادام که بتوان در تئوری و عمل یک نوترون یا بیشتر به‌هستهٔ اتم هریک از اجسام مادی‌افزود— این موضوع تنها جنبهٔ نظری داشته باشد). به‌عنوان مثال،ئیدروژن یک ایزوتوپ طبیعی‌دارد که دوتریوم (دوبله) است و یکی هم مصنوعی که تریتیوم(سوبله) است، چه، اتم‌ئیدروژن از یک پروتون در هسته و یک الکترون که به‌دور آن می‌چرخد تشکیل شده است، به‌عبارت دیگر پروتون — که دیدیم، عنصر اساسی در ساخت اتم هریک‌از انواع ماده بشمار می‌رود— خود ئیدروژن یونیزه(یونیده) شده است — تنها الکترون گردان به‌دور خود را از دست‌داده است— ولی‌دوتریوم از یک پروتون و یک نوترون در هسته و یک‌الکترون که به‌دور هسته‌می‌گردد، تشکیل شده است، این ماده همان‌ئیدروژن سنگین است که همچون‌ئیدروژن با اکسیژن ترکیب می‌شود و آب سنگین را— که سم مهلکی است—بدست‌می‌دهد، همچنان که می‌بینیم این ماده نیز (ئیدروژن سنگین) دارای همان‌خاصیتهای شیمیایی ئیدروژن معمولی است اگرچه در خواص فیزیکی مثل انجماد، درجه بسیار بالای جوش آن و غیره، تفاوتهایی دارد.

از این تفاوت فیزیکی برای جداکردن آب سنگین از آب معمولی استفاده می‌شود ولی به‌دلیل خواص شیمیایی یکسان، این کار از راههای شیمیایی،غیر-ممکن است. دوتریوم به‌نسبت بسیار اندکی در ئیدروژن عادی یافت می‌شود همچنان که آب سنگین نیز به‌همین نسبت در آب معمولی وجود دارد؛ برای بدست‌آوردن تنها یک‌کیلو گرم آب سنگین باید شش تن آب معمولی و مقدار زیادی انرژی الکتریکی بکار گرفت.

کشف ایزوتوپها مسئله‌ای راکه مدتها اذهان دانشمندان را به‌خود مشغول داشته بود، حل کرد: مقایسه وزن اتمی اجسام نسبت به‌ئیدروژن یا [پروتون یونیزه (یونیده) شده] به‌اعتبار اینکه این‌یک، واحد اندازه‌گیری بشمار آید زیرا عملاً هستهٔ انواع عناصر، ساده‌ترین آنها را تشکیل می‌دهد.

دیدیم که هستهٔ هراتمی از پروتونها و نوترونها تشکیل یافته و از نظر

جرم، باهم مساویند. و براین اساس باید وزن اتمی هرکدام از این اجسام‌نسبت به‌هیدروژن [پروتون] که به‌عنوان واحد، انتخاب شده است، عددی صحیح باشد ولی نتیجهٔ اندازه‌گیریهای دقیق همیشه علاوه برعدد صحیح وجود کسرهایی غیرقابل اغماض دراین ارقام بود. و سپس روشن شد که علت این امر وجود ایزوتوپها— به‌نسبت بسیار اندك— در انواع مختلف مواد است. این‌ایزوتوپها با مادهٔ اصلی خود در سنگینی هسته که ناشی از اختلاف تعداد نوترونهای‌آنها نسبت به‌نوع اصلی است، متفاوتند و این موضوع کار مقایسه بائیدروژن را— که خود نیز چنانکه دیدیم یک‌دست نیست— مشکل می‌سازد و از اینجاست که موارد کسری یاد شده پدیدار می‌شوند. اندازه‌گیریهای دقیق مدرن نشان می‌دهند، که مثلاً اورانیوم طبیعی تصفیه شده از هرآلودگی، مخلوطی است محتوی:

۹۹/۲۸ اورانیوم ۲۳۸؛

۰/۷۱٤٪ اورانیوم ۲۳۵؛

۰/۰۰٦٪ اورانیوم ۲۳٤.

در اینجاست که در می‌یابیم بدست‌آوردن مستقیم اورانیوم ۲۳۵— مناسب برای ساخت بمبهای هسته‌ای— از اورانیوم طبیعی به‌روشهای فیزیکی، تاچه اندازه مشکل و صعب‌الحصول است.

کلید نیروی هسته‌ای[1]

از اوایل این قرن، فیزیکدانها دریافتند که انرژی عظیمی در هسته ذخیره شده است، در آن هنگام «کلید» رهایی این [انرژی] را در اختیار نداشتند. در ۱۹۳۲ فیزیکدان بریتانیایی«جیمز شادویک» چیزی را که از لحاظ الکتریکی خنثی باشد، کشف کرد که جرمی به‌اندازهٔ پروتون داشت این [شیء] همان نوترون بود، کشف مستقیم و توجیه آن کار دشواری بود، نوترون آن چنان پرتویی است که به‌دلیل خنثی‌بودن بار الکتریکی آن، بر هرچه منتشر شود یونیده (یونیزه)اش نمی‌سازد و آن چنان عمری ندارد تا به‌پروتون و الکترون یا ذره‌ای دیگر به‌نام نوترنیو (نوترون کوچک به‌ایتالیایی) تقسیم شود، چه، عمر متوسط آن تقریباً ۲۰ دقیقه است.

---

۱. در این قسمت، از بررسیهای انسان و اتم نوشتهٔ فرانک برنابی، لندن ۱۹۷۱ و رهایی و کاربرد انرژی هسته‌ای نوشتهٔ موریس نمیا، استاد کالج دوفرانس، بهره گرفته‌ایم.

دانشمندان در آن زمان متوجه نبودند که این ذرهٔ تازه کشف شده، کلید مناسبی برای رها سازی نیروی هسته است، ولی فیزیکدان آلمانی «فریتز هوترمان» اشاره کرد که این ذره، چه بسا بتواند وسیله‌ای برای آزاد سازی نیروهای هسته‌ای باشد. در آن هنگام فیزیکدانان سرشناسی از قبیل «نیل‌بور»، «انشتین» و«رادرفورد» و دیگران با وی به‌مخالفت برخاستند. نوترون— به‌دلیل بی‌اثر بودن بر هسته (از لحاظ الکتریکی)— می‌تواند پرتوی بسیار مناسب برای پی بردن به‌آن [هسته] باشد. بر این اساس فیزیکدان ایتالیایی «فرمی» در ۱۹۳۴ به‌بمباران هسته عناصر، یکی پس از دیگری با نوترون پرداخت تا اینکه به‌اورانیوم رسید [او] با بمباران اورانیوم به‌عنصری دست پیدا کرد که دارای پرتوی قویتر از آنچه تا پیش از این آزمایش وجود داشت، بود. او از این سلسله آزمایشها فرضیهٔ کشف راهی برای دستیابی به‌عناصر سنگینتر از اورانیوم را— که آنها را «ترانس اورانیوم» یعنی آن سوی اورانیوم نامید— نتیجه‌گیری کرد. ولی شیمیدان آلمانی، «ایدانوداك» طی مقاله‌ای، تفسیر جدیدی از آزمایش فرمی بدست داد و آن اینکه؛ هستهٔ اورانیوم پس از آنکه مورد بمباران نوترون قرار گرفت به‌دو عنصر دیگر که هر دو سبکتر از آنند، تقسیم می‌شود. این فرضیه با آزمایشهای دو دانشمند آلمانی «اوتوهان» و «فریدریش اشتراسمان» که به‌سال ۱۹۳۸ بعمل آوردند، تأیید شد؛ آنها از آزمایشهای خود به‌این نتیجه رسیدند که هستهٔ اورانیوم در برخی حالتها بادریافت یک نوترون، به‌دو هستهٔ کریپتون و باریوم— که هردو سبکتر از هستهٔ اورانیوم هستند— تقسیم می‌شوند و بدین ترتیب مقداری‌از انرژی موجود در هسته، آزاد می‌گردد. آزمایشهای فیزیکدان آلمانی، «لیزاماینر» و همکار و هموطن او «اوتوفریش» که هر دو در دانشگاه کوپنهاگ مشغول‌بکار بودند، فرضیه مزبور را تقویت بخشید. در اینجا ناگزیر باید به‌دو موضوع زیر اشاره کنیم:

۱. مطالعات هسته‌ای جزو اسرار نظامی و صنعتی است که کشورهای‌مربوطه اصرار فراوانی در مخفی نگهداشتن آنها دارند.

۲. بیشتر آنچه دربارهٔ ره‌آوردهای این رشته از فیزیک، بیان می‌شود تحت‌تأثیر تلقینات مغرضانه‌ای است که طرفهای معینی —بویژه آنها که در جریان جنگ جهانی دوم در برابر آلمان قرار گرفته بودند و در رأس آنها صهیونیستهایی که تلاش دارند دانشمندان خود را تکسواران این میدان قلمداد کنند— القا می‌شود، مثال این مورد دو دانشمند یاد شده، «لیزاماینر» و «اوتوفریش» هستند که از کشور خود، آلمان گریختند و در دانشگاه کوپنهاگ مشغول کار شدند، و بدلیل تلاشها و مطالعات و بررسیهای علمی آنها که منجر به‌رهایی نیروی هسته‌ای شد، برایشان مقام نخست در نظر گرفتند. طبیعی است که در چنین مطالعات و

پژوهشهایی، مقام افتخاری وجود ندارد،زیرا هر پیشرفتی در این زمینه اهمیت فوق‌العاده مهمی دربر دارد.

سرعت نوترون همچون دیگر اجرام مادی به‌انرژی محرک آن بستگی دارد، به‌عنوان مثال کندترین حرکت در ماده‌ای است که سرعت آن مانند سرعت ماده‌ای است که از تحریک حرارتی ذرات در گرمای معمولی حاصل شده باشد، بطوری که انرژی محرکهٔ آن در این‌صورت از ۳٪ یا ٤٪ الکترون ولت تجاوز نمی‌کند این حالت را می‌توان با تعداد کافی برخورد نوترون با هستهٔ عناصر دیگر، بدست آورد، چنین نوترونهایی را«حرارتی» می‌نامند. نوترونهای متحرک با سرعتهای بسیار زیادی هم وجود دارد که انرژی محرکهٔ آنها از مرتبهٔ مگا-الکترون ولت فراتر می‌رود، این ذرات نه‌تنها هستهٔ اورانیوم ۲۳۵، بلکه هسته اورانیوم ۲۳۸ را نیز می‌شکافند.

اگر تمام نوترونهای رها شده براثر شکافتن اورانیوم —یا لااقل اکثر آنها— دارای سرعتهایی باشند که انرژی محرکهٔ آنها از یک مگاالکترون ولت بیشتر باشد در آن‌صورت رها کردن انرژی از اورانیوم ۲۳۸ که در طبیعت به‌وفور یافت می‌شود همچون رها کردن آن از اورانیوم ۲۳۵ خالص که بسیار نادر است کار بسیار ساده‌ای می‌بود، ولی انرژی اکثر نوترونهایی که با شکافتن ایزوتوپ ۲۳۵ —که در تودهٔ اورانیوم ۲۳۸ موجود است— خیلی از مگاالکترون ولت کمتر است و مانع از آن می‌شود که این نوترونها باعث شکافتن هستهٔ مجاور (اورانیوم۲۳۸) شوند. علاوه براین: پرتوهای تابندهٔ دارای‌انرژی‌زیاد،پس از برخورد با هسته‌های مجاور، انرژی خود را از دست می‌دهند و قادر به‌بمباران اورانیوم ۲۳۸ نمی‌شوند.

نوترونهای حرارتی با انرژی کمتر از یک‌دهم الکترون ولت، هستهٔ ایزوتوپ ۲۳۵ را می‌شکافند—دقیقاً مانند نوترونهای پرشتاب— و هستهٔ اورانیوم ۲۳۸ نیز با شتاب بسیار زیاد هر مقدار نوترون دارای انرژی بین یک تا هفت الکترون ولت را می‌بلعد (و این همان چیزی است که بدان دامنهٔ مکش نوترونها بوسیله هستهٔ اورانیوم می‌نامند).

آنچه خیلی مهم است اینکه براثر بلعیدن، اورانیوم ۲۳۸ —در پی تحولات زنجیره‌ای کوتاه به‌ترتیب زیر— به‌پلوتونیوم تبدیل می‌شود؛ در وهلهٔ نخست به ایزوتوپ صنعتی اورانیوم ۲۳۹ تبدیل گشته که از هم می‌پاشد و در طول ۲۳ دقیقه نیمی از آن به‌نپ‌تونیوم با عدد اتمی ۹۳ و وزن اتمی ۲۳۱ تبدیل می‌شود، نیمی از این یک نیز در طول دو تا سه‌روز به‌پلوتونیوم تبدیل می‌شود عنصر اخیر، عنصری است رادیواکتیو و نسبتاً پایدار که اشعهٔ آلفا —هلیوم یونیده شده—

می‌تراود و بدین‌ترتیب به‌اورانیوم ۲۳۵ تبدیل می‌شود که نیمهٔ عمر آن برابر ۲۴ هزار سال است و در این مدت نیمی از آن متحول می‌شود.

عدد اتمی پلوتونیوم ۹۴ و وزن اتمی آن ۲۳۹ است و همچون اورانیوم ۲۳۵ به‌طور برابر به‌نوترونهای کند و تند تقسیم می‌شود و براین اساس برای تهیهٔ سوخت هسته‌ای علاوه بر اورانیوم ۲۳۳ دو عنصر دیگر نیز لازم است، آنچه پلوتونیوم را مشخص می‌سازد تفاوت خاصیتهای شیمیایی آن نسبت به‌خانوادهٔ اورانیوم است که بر همین پایه می‌توان از راههای شیمیایی، آن را از تودهٔ‌اورانیوم ۲۳۸، که در آن تشکیل شده، مجزا کرد.

از سوی دیگر به‌دست آوردن نوترونهای کند با برخورد مواد مناسب برگشت‌پذیر به‌پرتو نوترونهای تند صادره از ایزوتوپ ۲۳۵ — که در نیروگاههای اتمی در اورانیوم طبیعی وجود دارد — که چندین مرتبه به‌هسته‌ای آن تصادم کند و پس از آنکه انرژی خود را از دست داد به‌نوترون کند، تبدیل می‌شود و به‌سمت هستهٔ اورانیوم ۲۳۸ در نیروگاههای نامبرده که آن را می‌بلعد و آن را به‌هستهٔ پلوتونیوم تبدیل می‌سازد، بازمی‌گردد[1].

ذخیرهٔ انرژی هسته‌ای

امریکا در همان حال که انحصار نفت جهانی را در دست خود دارد در زمینهٔ انرژی هسته‌ای، بویژه سوخت هسته‌ای که تقریباً انحصار آن را دارد، در جهان سرمایه‌داری مقام نخست را به‌خود اختصاص داده است و انحصارگر در این بخش همان انحصارات نفتی هستند. مجلهٔ «بیزنس اویل» ارگان شرکتهای امریکایی— خصوصاً انحصارات نفتی— می‌نویسد[2]: «انحصارات بزرگ نفتی بتدریج و به‌طور روزافزون بر ذخایر نسبتاً زیاد اورانیوم —مادهٔ‌خام انرژی هسته‌ای— چیره می‌شوند.» و در گزارش خارجی اکونومیست مورخ ۱۹۸۰/۸/۱۳ عبارت زیر را که بیانگر قدرت و سلطهٔ انحصارات امریکایی در زمینهٔ انرژی هسته‌ای است، می‌خوانیم: —و می‌بینیم که چگونه به‌خود جرأت می‌دهند کشور دارای عناصر هسته‌ای بزرگی همچون فرانسه را تهدید به‌قطع ارسال سوخت هسته‌ای کند— «گفته می‌شود امریکاییها تهدید شدیداللهنی مبنی‌بر توقف حمل اورانیوم غنی‌شده

---

۱. انرژی اتم، ص ۱۰۲-۹۸ و دایرةالمعارف بریتانیکا ذیل دو عنوان «اورانیوم» و «توریوم».

۲. گزارش بورسیهای فتح، ص ۵، ش ۷۳، ۱۹۸۰.

از نوع عالی و برای تغذیه نیروگاههای اتمی فرانسه، به‌این کشور کرده‌اند تا نسبت به‌پروژه‌های فعالیت امریکا در این زمینه (تغذیه نیروگاههای عراق با مواد غنی شدهٔ از نوع عالی- مؤلف)، نظر مخالف نداشته باشد.» البته این بدان معنا نیست که کشورهای بزرگ همپیمان با امریکا برای خود صنایع هسته‌ای ندارند. ولی تولید هریک‌از این کشورها در این زمینه نیازهای داخلی و نیازهای مربوط به‌بازرگانی خارجی آن را کفاف نمی‌دهد و ناگزیر می‌شوند برای رفع نیازهای گوناگون خود، از امریکا وارد کنند. به‌اینها همه باید وجود روابط انحصاری بین‌المللی میان این کشورها از یک‌سو و سرکردگی امریکا نسبت به‌این روابط از سوی دیگر، بویژه آنچه به‌زمینهٔ هسته‌ای مربوط می‌شود را، افزود.

ایالات متحدهٔ امریکا برکشورهای اروپایی فشار وارد می‌آورد تا روابط هسته‌ای آنها با جهان سوم و بویژه جهان اسلام و عرب، طبق دلخواهش باشد و «در برنامهٔ ایجاد نیروگاهها در عراق توسط فرانسه،(و با انحصارگران خود برای ویران ساختن این نیروگاهها از سوی اسرائیل-مؤلف) توطئه‌چینی کرد و برای لغو قرارداد مشابهی با برزیل (کشور دیکتاتوری که‌در خط امریکاست- مؤلف) بر آلمان غربی فشار آورد؛ و این موضعگیریها، سیاستی است که به‌هرحال از سوی امریکا اعلام شده و بسیار ساده است که تصور کنیم فشار امریکا صدبار بیشتر خواهد بود اگر احتمال ورود تکنولوژی و تخصص هسته‌ای به‌هرکشور عربی در میان باشد. . .»[1]. از طرفی تلاشهای‌پیگیر امریکا در «تسلط» بر مغزهای فیزیکی — بویژه آنهاکه در دانش اتم متخصصند — در تمامی کشورهای جهان، از پیش از جنگ جهانی دوم تا به‌امروز، دیگر یک راز نیست.

در پایان جنگ جهانی دوم دانشمندان اتمی آلمان را به‌همراه ره‌آوردهای علمی و مادی و تجهیزاتشان، همچون غنایم جنگی، به‌سوی خود جلب کرد و با استفاده از شرایط آن‌زمان و ویرانی کشورشان،برنامه‌هایی برای «سربه‌راه» کردن آنها و وادارکردنشان به‌پذیرش تابعیت امریکاتهیه دید[2].

---

۱. المستقبل، ۱۹ مه ۱۹۷۹.

۲. به‌گزارش دانشمند اتم شناس آلمان «اروین اوپنهایمر» در کتابش زندانیان جهان اتم و گزارش دانشمندان دیگر اروپایی که در این کتاب آورده شده است، مراجعه فرمائید.

مواد رادیواکتیو در قشر زمین[1]

معدن اورانیوم و توریوم (که مشابه آن است و اولین حلقه از زنجیره یا خانوادهٔ رادیواکتیوها بشمار می‌رود. هرکدام از حلقه‌های این زنجیر در پی یکدیگر روان هستند و می‌توان از آن به‌ایزوتوپ رادیواکتیو اورانیوم ۲۳۳ — که در صنعت اتم بسیار اهمیت دارد — دست یافت) این دو معدن در طبیعت تنها به‌صورت ترکیبهای شیمیایی گوناگون وجود دارند و نسبت اورانیوم در رویهٔ زمین همچون نسبت سرب در آن یعنی ۰۰۰۵/. مواد آن است که اساساً از سنگهای آذرین گرانیت و بازالت تشکیل شده است[2].

در برخی گرانیتها در هر تن سنگ، حدود ۳۰ گرم اورانیوم وجود دارد. بطورکلی از این معدن در این سو و آن سوی قشر زمین به‌طور پراکنده مقادیر جزیی مخلوط با آنچه از تشعشعات اتمی آن در طول میلیونها و میلیاردها سال بدست آمده، مانند رادیوم، پولونیوم و سرب و غیره و نیز مواد آمیخته‌ای که تشابهی با خانوادهٔ آن ندارند، یافت می‌شود.

کشورهایی مانند کنگو، کانادا، استرالیا و چکسلواکی به‌داشتن فلز این معدن شهرت دارند. مقدار آن در طبقات نخستین رویهٔ زمین حدود 10^{15} تن یعنی یک میلیون میلیارد تن، برآورد می‌شود که باید آنچه را که در کف اقیانوسها نیز — بمیزان 10^{10} تن ده میلیارد تن — وجود دارد، بدان افزود. از ترکیبات آن که در طبیعت یافت می‌شود، می‌توان فسفات اورانیوم و کلسیم (اوتونیت)، نمک وانادیوم پتاس ئیدروژنه و کارنوتیت — به‌نام شیمیدان فرانسوی، ماری‌ـ ادولف کارنو — را نام برد ولی مهمترین اکسیدهای موجود در طبیعت آن، اورانیت است که بیش از ۵۰ درصد آن اورانیوم طبیعی است و در یکی از انواع آن به‌نام پچبلند این نسبت به ۹۰ درصد نیز می‌رسد.

اروپاییها از دههٔ سوم قرن گذشته توریوم را شناختند، عنصری است که

---

۱. گلادکوف، انرژی اتم ـ فرانک برنابی، انسان و اتم ـ موریس نمها، دایرةالمعارف بریتانیکا، ذیل همین عنوان قابل توجه است.

۲. گرانیت یا سنگ خارا، سنگ آذرینی است که منشأ درونی دارد و انجماد آن در زیر پوستهٔ جامد زمین انجام گرفته است درحالی‌که بازالت سنگ آذرین خارجی است، یعنی از انجماد گدازه‌های آتشفشان در سطح زمین بوجود می‌آید.ـم.

حدود ۸۰۰۰/. از رویهٔ زمین را تشکیل می‌دهد و بویژه از ترکیبهای سلیکات توریوم فسفرین استخراج می‌شود. در هند، برزیل و سریلانکا مقادیر زیادی از آن وجود دارد. نسبت غنای این فلزات بین ۵ تا ۸ درصد است.

«موریس نمیا» استاد کالج دی‌فرانس، که پیش از این نامش به‌میان آمد، می‌گوید: «جستجو و کنکاش مواد رادیواکتیو تا پیش از جنگ جهانی دوم، امری کاملاً سری بود اما امروزه رازداری در این مسئله بسی بیشتر است، بنابراین بیهوده است اگر بخواهیم میزان ذخایر جهانی این مواد را به‌طور درست، تخمین بزنیم...»[۱] و ما بدین سخن می‌افزاییم. تخمین ارزش منابع معدنهایی که انرژی و ابزار ویرانگر تمام عیار از آنها ساخته می‌شود — و در رأس آنها اورانیوم — از جمله اسرار جنگی ـ نظامی است که رازداری و پنهانکاری در مورد آن به‌حد اعلای خود می‌رسد، با این وجود، گاه می‌توانیم به‌استناد گزارشهای موثق و داده‌های علمی و... ارزیابی درستی، اگرچه بسیار کلی، از این موضوع ارائه دهیم. بر این اساس سعی می‌کنیم میزانی از ذخیرهٔ اورانیوم در جهان عرب ارائه دهیم. این ذخیره، همچنان که درمورد ذخایر نفتی بوده و هست، مورد توجه کشورهای صنعتی غرب است.

در مقاله‌ای که روزنامهٔ اقتصادی آلمان «هندلسن بلات» چاپ «دوسلدورف» در این باره انتشار داده، آمده است[۲]: «تضمین درازمدت دسترسی به‌اورانیوم از جمله مسائل بسیار مهمی است که برای کشورهای صنعتی غرب اهمیت حیاتی دارد. جستجوی ذخایر جدید انرژی به‌طور بسیار فشرده جریان دارد؛ کشورهای عربی ـ افریقایی در چند سال گذشته در این زمینه، نظرها را به‌سوی خود جلب کرده‌اند. در لیبی: در بخش مرزی این کشور با چاد فعالیتهایی جریان دارد. و در الجزایر از ماه مه سال گذشته به‌مجموعه‌ای از شرکتهای بین‌المللی — کنسرسیومهای بین‌المللی — اجازه داده شد تا برای استخراج اورانیوم درمنطقهٔ «حجار» درشرق «تامان راست» مرکز منطقهٔ جنوبی کشور اقدام به‌فعالیت کنند.

«سازمان انرژی اتمی» وابسته به‌«سازمان رشد و توسعهٔ جهانی» در پاریس و ادارات بین‌المللی انرژی در وین، حجم ذخیرهٔ آنها را پنجاه هزار تن اورانیوم برآورد کرده‌اند، در حالی که شرکت دولتی الجزایر (سوناریم) این ذخایر را بسیار بیشتر از این مقدار تخمین زده است و قرار است در آغاز دههٔ هشتاد، استخراج این ذخایر آغاز شود. میزان ذخایر موجود در صحرای غربی نیز قابل

---

۱. دهایی و کادیرد انرژی اتم، ص ۱۶۳.

۲. به نقل از الدستور، ۱۹۸۰/۸/۱.

توجه است. طبق گزارشهای مصری، عرضهٔ معدن اورانیوم از چهل تا پنجاه تن در سال آغاز می‌شود و تا صد تن در سال بالغ می‌گردد.

در مناطق دیگری از این کشور نیز حفاریها جریان دارد. در جنوب غربی سودان و در منطقهٔ «جوفرات» این کشور وجود عناصر رادیواکتیو در ذخایر مس، مسلم‌شده است، با این همه کاوشهای تجارتی از سوی شرکتهای خارجی به‌اظهارات قطعی درمورد وجود ذخایر اورانیوم سودان، منجر نگشته است، ولی دلایلی نسبت به‌وجود ذخایر این معدن در منطقهٔ «رحیبات» موریتانی موجود است، دولت این کشور قراردادی با یک گروه از شرکتهای بین‌المللی جهت کاوش در دومنطقه‌ای که به‌نظر می‌رسد از اورانیوم سرشار هستند، به‌امضا رسانده است. ولی در مغرب (مراکش) به‌احتمال زیاد بزرگترین ذخیرهٔ فسفات حاوی اورانیوم در جهان یافت می‌شود، چراکه، اسید فسفریک بدست آمده از نوع معینی از سنگهای فسفات، دارای اورانیومی به‌نسبت ۴۲٪-۳۲٪ است...» (پایان گزارش مجلهٔ فوق).

اورانیوم و توریوم در سنگ گرانیتی که توده‌های فراوان آن در مصر و سودان و شبه جزیره عربستان یافت می‌شود به‌نسبت ۰۰۱./. توریوم و ۰۰۰۴./. اورانیوم وجود دارد و «جالب اینکه هرکدام از اورانیوم و توریوم از طریق عناصری که کمتر از ۱٪ مجموع توده گرانیت را تشکیل می‌دهند در گرانیت طبیعی پیوند خورده‌اند و به‌عنوان مثال درصد تن «گرانیت»، عناصر گرانبهای زیر موجود است: ۸ تن آلومینیوم، ۵ تن آهن و یک تن منیزیوم، ۹۰ کیلوگرم منگنز، ۳۵ کیلوگرم کروم، ۳۰ کیلوگرم نیکل، ۱۵ کیلوگرم وانادیوم و ۱۰ کیلوگرم مس، ولی توریوم به‌نسبت ۰۰۱./. در موادی که از طریق آنها با تودهٔ گرانیت پیوند خورده وجود دارد و اورانیوم نیز در همان مواد به‌نسبت ۰۰۰۴./. موجود است این نسبتها خیلی بالاست و به‌همین دلیل روزی خواهد رسید که از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه خواهد بود تا مواد بدست آمده از این سنگ، به‌همراه برخی مواد گرانبهای دیگر را برای مقاصد صنعتی امروزی، استخراج کنند»[1].

مجموع ذخایر انرژی کرهٔ خاکی — اعم از نفت و زغال سنگ و غیره — چیزی بیش از ۵٪ از انرژی ذخیره شده در اورانیوم و توریوم را تشکیل می‌دهد که اینک مراحل آغاز کاربردهای اولیه آن را طی می‌کنیم و به‌دلیل ابتدایی بودن بهره‌برداری از آن، علاوه‌بر ناتوانی از توسعه کاربرد آن در بیشتر زمینه‌های مفید، قسمت اعظم آن را به‌هدر می‌دهیم.

---

۱. انرژی اتم، همان مدرک، ص ۱۵۰.

غنی‌سازی مواد شکاف‌پذیر[1]

فراورده‌های معدنی بکاررفته در صنایع برای استخراج اورانیوم معدنی، که با عناصر دیگر آمیختگی نداشته و از هر ناخالصی دور باشد، در بهترین حالتها بیش از یک تا دو درصد از این معدن را دارا نیستند، و حتی اگر این فراورده‌ها محتوی کمتر از ۰/۱٪ اورانیوم باشند نیز از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است که مورد استفاده قرار گیرند.

کارگاههای ویژه‌ای برای غنی‌سازی مواد استخراجی از معدن نامبرده، که در نتیجه آن از هر ناخالصی پالایش می‌شود، وجود دارند که بر اثر چنین عملیاتی نسبت اورانیوم آن به‌چندین ده درصد افزایش می‌یابد. از روشهای شیمیایی مناسب، برای دست‌یابی به‌معدن خالص اورانیوم استفاده می‌شود.

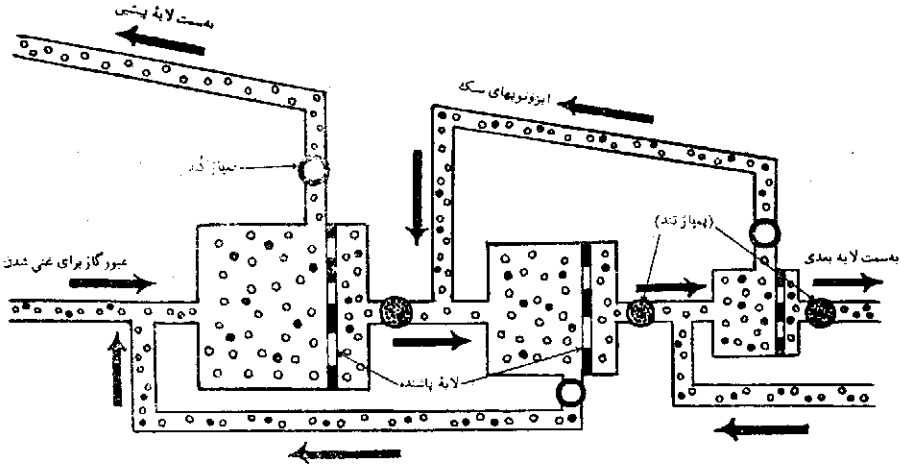
تولید اورانیوم این مشخصه را دارد که باید به‌طور مطلق و به‌دور از هرگونه ناخالصی بدست آید، چه، مقدار بسیار اندکی از یک مادهٔ خارجی، کافی است تا آن را برای کاربردهای اتمی از تولید انرژی تا تولید مواد مورد نیاز بمبهای هسته‌ای، غیر مفید سازد. این مواد خارجی، تشعشعات نوترونی آن را، که اهمیت قطعی در واکنشهای هسته‌ای دارند، می‌بلعند.

پیش از این دانستیم که اورانیوم معدنی خالص، مخلوطی از اورانیوم ۲۳۸ و ایزوتوپ آن اورانیوم ۲۳۵ و ایزوتوپ دیگر آن اورانیوم ۲۳۴ است. آنچه در صنایع اتمی برای ما مهم است این است که ایزوتوپ ۲۳۵ به‌مقدار بسیار اندکی در اورانیوم معدنی وجود دارد که ناگزیر باید به‌حد کافی آن را با ایزوتوپ خود غنی ساخت تا به‌عنوان سوخت اتمی در نیروگاهها یا مادهٔ اولیه برای ساخت بمبهای هسته‌ای، مناسب باشد. به‌عنوان مثال درجه غنی‌سازی برای ساخت بمب هسته‌ای ۹۰ درصد اورانیوم ۲۳۵ در اورانیوم معدنی است، برای این کار راههایی چند وجود دارد که به‌مهمترین آنها اشاره می‌کنیم:

یک، روش پاشاندن گاز: این روش براساس تهیه (ساخت) فلوراید اورانیوم معدنی شش ظرفیتی که در حرارت عادی نمک سختی است ولی براحتی تبخیر می‌شود و بسیار فعال و شدیداً خورنده و سمی است. به‌همین علت برای کاربرد آن باید از وسایل و ابزارهای ویژه‌ای جهت کنترل فعالیت آن (تلمبه، لوله، مکنده و...) استفاده کرد، علاوه‌بر این، تمام تأسیسات بایستی از روغنها و

---

۱. گلادکوف، موریس نمیا، فرانکه‌برنابی، دایرةالمعارف بریتانیکا، ذیل همین عنوان.

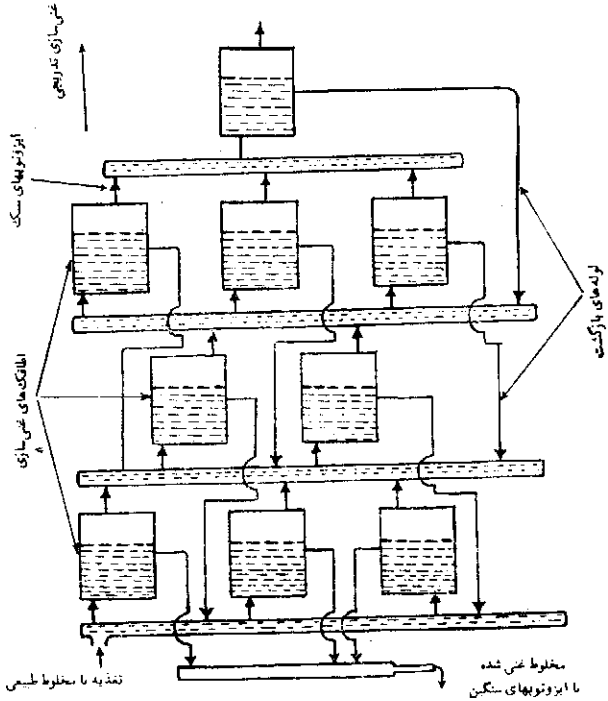


شکل ۱. نحوهٔ پاشاندن گازی از لایه‌های پاشنده. در شکل سه لایهٔ پاشنده مشاهده می‌شود.

چربیها به‌دور باشند همچنان‌که باید عملیات در ظرفهای مطلقاً خشکی صورت گیرد تا روزنه‌ها، با پودرهایی‌که بسادگی و باکمترین اثر رطوبت، تشکیل می‌شوند، گرفته نشود. شرایط صنعتی دیگری نیز باید فراهم باشد؛ اضافه بر همهٔ اینها باید وسایلی را بکار برد که فلوراید نامبرده بر آنها مؤثر نباشد، به‌عنوان مثال لوله‌های رابط نباید گاز ترشحی را نشست دهند زیرا باعث صدمه‌دیدگی دست‌اندرکاران کارگاه می‌شود و نیز درکار ظرفهای مترشح با مختل ساختن فشارآنها، ایجاد اشکال می‌کند.

درمورد روزنه ترشح کننده‌ها، قطر آنها باید از ردیف یک‌صدم‌میکرون باشد زیرا برد آزادی‌که یک اتم پیش از برخورد با دیگری در فضای گاز با فشار جوی معمولی می‌تواند طی‌کند، یک‌دهم‌میکرون است؛ حال اگر بدانیم وسعت حجم دستگاهها مساحت وسیعی از زمین را با پیچیدگی فوق‌العاده زیادی، تحت پوشش خود می‌گیرد کاملاً درک خواهیم کرد که این کار تا چه میزان سخت و نیازمند چه بودجهٔ سنگینی است.

کار پاشاندن در چندین طبقه صورت می‌گیرد و برای بدست آوردن اورانیوم ۲۳۵ با درجهٔ خلوص ۹۹٪ نیاز به‌حدود چهارهزار طبقه خواهیم داشت. تأسیساتی که برای غنی‌سازی به‌شیوهٔ پاشاندن گازی بنا شده از لحاظ حجم و وسعت به‌حدی است که در تاریخ صنعت بی‌نظیر می‌باشد. بنای آن در نیمهٔ سال ۱۹۴۳ در «اوک‌ریدگ» «تنسی» آغاز شد و تأسیسات آن مساحتی نزدیک به‌یک کیلومتر



شکل ۲. روش پاشاندن‌گازی با یک سلسله سادهٔ تشعشعی. ۹ دستگاهی که بر سه طبقه استوارند نشان داده‌شده است.

بناهای مختلف را اشغال کرد، (البته تنها مساحت همکف بحساب آمده است).

این پروژه شامل (صفحهٔ ـ موانع) پاشاننده‌ای است که مساحت آنها بالغ بر چندین کیلومتر مربع می‌شود، این موانع از طریق صدها مایل لوله و هزارها جفت و بست و جوشکاریهای پیچیده به‌همدیگر پیوند می‌خورند. این پروژه به‌دلیل کثرت مصرف انرژی با بنای یک ایستگاه بسیار پر قدرت انرژی الکتریکی، پایان پذیرفت و اینک اورانیوم در آن غنی می‌شود. در دو شکل ۱ و ۲ دو الگو برای نحوهٔ غنی‌سازی اورانیوم از طریق پاشاندن گازی نشان داده شده است حال دربارهٔ هریک اندکی شرح می‌دهیم[1]:

شیوهٔ پاشاندن گازی، پیوسته تنها راه تولید انبوه اورانیوم غنی شده با ایزوتوپ ۲۳۵ است. تا سال ۱۹۷۰ در جهان هشت مورد از این تأسیسات وجود

---

۱. بررسیهای مودیس نمیا، ص ۱۷۵-۱۷۳.

داشت که سه عدد آن در ایالات‌متحد، دو عدد در اتحاد شوروی و در بریتانیا و فرانسه و چین هرکدام یکی. تمامی این هشت مورد برای مقاصد نظامی ایجاد شده‌اند، گواینکه در حال حاضر به‌تولید اورانیوم غنی شده مشغولند تا انرژی‌مورد نیاز نیروگاهها را فراهم آورند. درجهٔ غنی‌سازی طبق معمول چندان بالا نیست و از ٤ درصد کمتر است.

دو، شیوهٔ الکترومنیتیکی: اساس این شیوه بر پدیدهٔ سادهٔ حرکت یونها در مسیرهای مختلف میدانهای الکتریکی و منیتیکی است (نگاه کنید به‌شکل ۳ آزمایش «جوزف تامسون» در جداسازی اجسام ریز یونیده شده). حال نگاهی به‌خطوط اصلی این روش بیندازیم؛ مخلوط گازی که قرار است دو عنصر آن از هم جدا شوند وارد حجم کوچکی شده و با تخلیه الکتریکی یونیده می‌شود.

یونها در دو گروه پیاپی عبور می‌کنند. بطوری که حرکت آنها در میدان الکتریکی تشریع می‌شود.

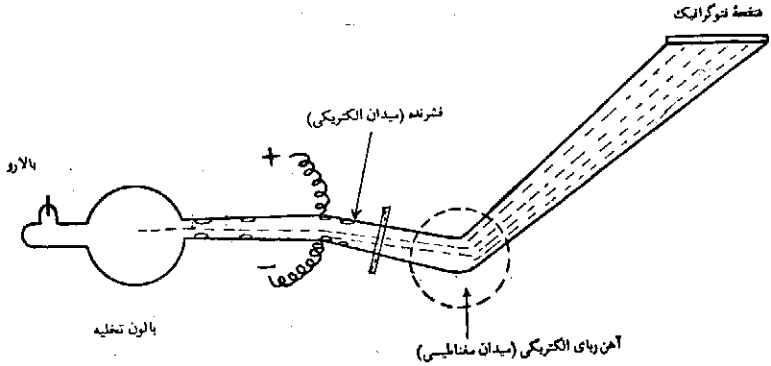
— با صرفنظر از اثر حرارتی، تمام یونها در میدان الکتریکی مزبور مقداری انرژی حرکتی بدست می‌آورند، این انرژی با «بار» یون و میزان قدرت میدان شتاب‌دهنده الکتریکی سنجیده می‌شود. از سوی دیگر سرعت یونهای سبک‌به‌میزان بسیار اندکی از سرعت یونهای سنگین بیشتر است، زیرا انرژی حرکتی —که در تمام یونهای سبک و سنگین برابر است — متناسب با مجذور سرعت و جرم است و همین علت باعث ایجاد تفاوت اندک پیش گفته در دو نوع نزدیک به‌یکدیگر یک جرم است.

— تسریع جرم (دفع یونها)، که در یونهای سبک کمتر از یونهای‌سنگین است، باعث انحراف مغناطیسی یونها به‌هنگام رد شدن از میدانهای مناسب مغناطیسی می‌شود.

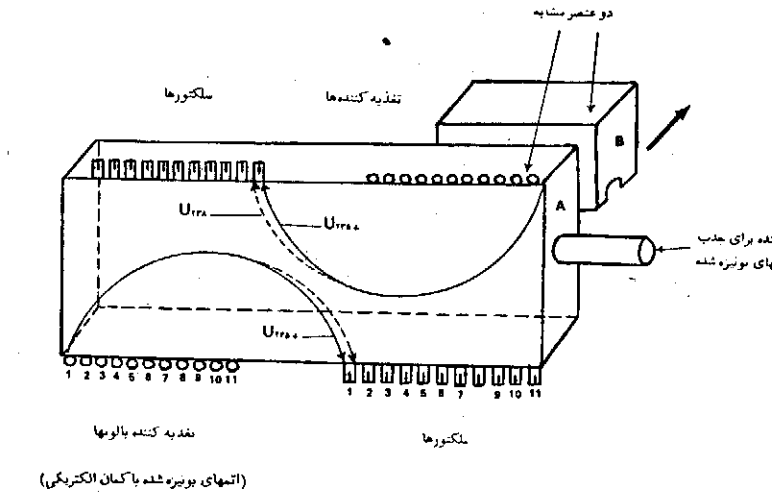
— یونها پس از خروج از شق دوم —که بدان اشاره شد —، وارد میدان مغناطیسی می‌شوند و مسیری نیم‌دایره‌ای در سطح عمودی جهت میدان، طی می‌کنند. شعاع این مسیرها متناسب با قدرت دفع یونهایی است که با توجه به‌جرم و سرعت هر یک بر آنها حرکت می‌کنند. بنابراین یونهای سبک بر روی نیم‌دایره‌های کوچکتر و یونهای سنگین بر روی نیم‌دایره‌های بزرگتری حرکت می‌کنند. و لذا گردآورنده‌های مناسبی برای هر یک کار گذارده شود تا هر کدام جداگانه، یکی از یونهای دوگانه را جمع کنند (به‌دو شکل ٤ و ٥ مراجعه فرمائید).

پروژهٔ غنی‌سازی به‌شیوهٔ الکترومنیتیکی نیز در «اوک‌ریدگ» ایالات‌متحد امریکا فراهم آمده است. پروژه‌ای بسیار عظیم که از واحدهای مستقلی تشکیل

شده است؛ مغناطیسها در اینجا بسیار عظیمند و هرکدام سی‌متر طول و هزار تن فولاد وزن دارند.



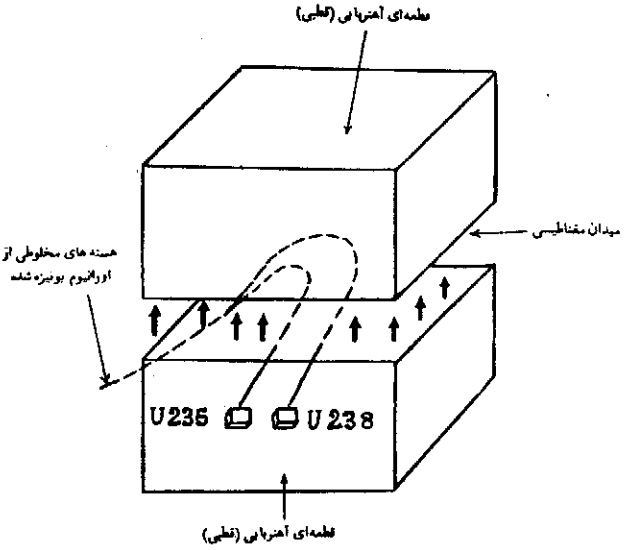
شکل ۳ــ دستگاه تامسون برای جداسازی یونهای ایزوتوپ از یکدیگر



شکل ۴ــ دستگاهی برای جداسازی ایزوتوپها از یکدیگر

در این پروژه، یک تشکیلات تخلیه وجود دارد که قادر به‌تخلیهٔ بسیار شدید حجمهای زیاد است. بر اثر عملکردهای مداوم، معلوم شده است که روش الکترومنیتیکی به‌گونهٔ بسیار فزاینده‌ای در مورد اورانیومهایی که قبلاً غنی شده

— به‌جای اورانیوم معدنی (طبیعی)— کاربرد دارد.



شکل ۵ــ یك روش ساده برای غنی‌سازی الکترومنیتیکی

سه، شیوهٔ حرارتی: یک شیوهٔ سادهٔ غنی‌سازی اورانیوم است و روش ساده‌ای است که براساس دو لولهٔ قائم هم‌محور با محور استوانه‌ای که آنها را دربرگرفته، استوار است. لولهٔ داخلی با جریان داغی که از آن می‌گذرد، گرم می‌شود در حالی که لولهٔ خارجی با جریان آبی که از خارج آن را دربرگرفته، سرد می‌گردد؛ مایع فلوراید اورانیوم معدنی شش ظرفیتی تحت فشار به‌فضای میان دو لوله فرستاده می‌شود در این حالت ایزوتوپ سبک به‌سطح گرم لولهٔ داخلی و به‌طرف بالا نزدیک می‌شود — در اینجاست که باید به‌فواید طول زیاد دو لولهٔ هم‌محور نامبرده توجه کرد — در حالیکه ایزوتوپ سنگین به‌سطح سرد لولهٔ خارجی و به‌طرف پایین نزدیک می‌گردد.

مجموعهٔ غنی‌سازی حرارتی در «اوك ریدگ» دارای بیش از ده‌هزار ستون است که ارتفاع هر یک به‌حدود پنجاه متر می‌رسد. این مجموعه درنزدیکی ایستگاه بسیار عظیم تأمین کنندهٔ انرژی برای کارگاه غنی‌سازی به‌شیوهٔ پاشاندن گاز — که فوقاً بدان اشاره کردیم — تأسیس شده است.

خلاصه اینکه مجموعهٔ غنی‌سازی اورانیوم در «اوك‌ریدگ» اگر نگوییم بزرگترین ولی می‌توان گفت یکی از بزرگترین تأسیسات جهانی در نوع خود است

که سه کارگاه بسیار عظیم «غنی‌سازی پاشاندنی» و کارگاه «غنی‌سازی الکترو-منیتیکی» و کارگاه «غنی‌سازی حرارتی» را شامل می‌شود.

می‌توان تصور کرد — و این تنها یک فرضیه مبتنی بر تجربه و امور بدیهی در فیزیک تطبیقی است — که غنی‌سازی اورانیوم معدنی (طبیعی) با اورانیوم ۲۳۵ شامل شیوه‌های پیچیده‌ای است که اساساً مبتنی بر روشهای سه‌گانه فوق-الذکر است؛ این شیوه با روش حرارتی که ضعیفترین شیوهٔ غنی‌سازی است آغاز می‌شود و سپس نتیجهٔ حاصل به‌شیوهٔ پاشاندن غنی می‌گردد و پس از آن شیوهٔ الکترومنیتیکی بکار برده می‌شود.

این کار چندین بار دیگر و هر بار با یکی از شیوه‌های سه‌گانهٔ فوق، تکرار می‌گردد، مشروط بر اینکه آغاز هر بار به‌شیوه‌ای جز آنچه مرتبهٔ قبل از آن آغاز شده بود، انجام گیرد زیرا در غیر این صورت باعث برگشت نتایج حاصله در این سری از عملیات متوالی است...؛ ممکن است برای هر درجه غنی‌سازی برنامهٔ کاری مناسبی طرح کرد و طبیعی است که چنین عملیاتی، با تمام ابعاد و مراحل و وسایلی که دارد، برای عرضهٔ حجم کافی جهت پرآورد نیازهای نظامی و غیر-نظامی در فاصله زمانی مناسب، مستلزم حجم کار بسیار سنگینی است.

در بحثی که داشتیم به اتفاق، نحوهٔ دست‌یابی به مادهٔ شکاف‌پذیر در نیروگاههای هسته‌ای — پلوتونیوم، که در نیروگاههای هسته‌ای بکار می‌رود — و نیز نحوهٔ ساخت بمبهای اتمی را دانستیم همچنان که پیشتر، امکان به کار بردن اورانیوم ۲۳۳ — که بدواً از توریوم حاصل می‌شود — برای همان هدفها را نیز یادآور شدیم.