الفبای هسته‌ای
الف ب پ ت ث ج

U
۲۳۵

پیش‌گفتار ناشر

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای در جایگاه مهم‌ترین نهاد ترویج علوم و فناوری هسته‌ای در کشور محسوب می‌شود. از جمله اهداف این پژوهشگاه می‌توان به توسعه و گسترش علوم و تکنولوژی هسته‌ای و زمینه‌سازی مناسب برای ارتقای فعالیت‌های پژوهشی نام برد. در راستای پیشبرد این اهداف، انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای به منظور معرفی و ترویج کاربردهای صلح‌آمیز علوم و فنون هسته‌ای و توسعه دانش هسته‌ای، اقدام به چاپ و انتشار مجموعه، «**الفبای هسته‌ای**» کرده است.

در این مجموعه، به زبانی ساده سعی شده است ساختار هسته و اتم و اجزای تشکیل‌دهنده آنها بیان شود، در ادامه اهمیت استفاده از انرژی هسته‌ای به جای سوخت‌های فسیلی و پایان‌پذیر با مثال‌هایی شیوا و روان توضیح داده‌شده به گونه‌ای که عموم خوانندگان می‌توانند اهمیت انرژی هسته‌ای و سودمند بودن آن را به عنوان منبع سبز تأمین انرژی آینده دریابند. مجموعه حاضر از روی عنوان اصلی «**Nuclear Alphabet**» مربوط به شرکت رُس‌اتم (ROSATOM) ترجمه شده و در راستای معرفی مبانی انرژی هسته‌ای به خوانندگان گرامی تقدیم می‌شود. امید است که این خدمت ناچیز بتواند در تبیین و ترویج انرژی صلح‌آمیز هسته‌ای مؤثر باشد. در پایان از خوانندگان محترم استدعا دارد ما را از نظرات و پیشنهادات خود در راستای بهبود و ارتقای انتشارات علوم و فنون هسته‌ای بهره‌مند فرمایند.

انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

بهمن‌ماه ۱۳۹۸

خواننده‌ی گرامی

نام کتابی که در دست دارید «**الفبای هسته‌ای**» است؛ کتابی که به شما کمک می‌کند تا بهتر درک کنید که چرا اشیای پیرامون‌تان از هم نمی‌پاشند و یا چه فرایندهایی در اطراف‌تان دارند رخ می‌دهند و چه قوانین فیزیکی‌ای بر آن‌ها حاکم‌اند.

این کتاب شما را به جهان شگفت‌انگیز فیزیک هسته‌ای هدایت می‌کند. با مطالعه‌ی این کتاب استفاده‌*های انرژی هسته‌ای* و مزایای آن را خواهید آموخت. مهم‌ترین آن‌ها دستیابی به یک منبع انرژی ارزان و عملاً پایان‌ناپذیر است. این انرژی امروزه توسط نیروگاه‌های شکافت هسته‌ای تولید می‌شود و تلاش بر آن است که در آینده این انرژی توسط نیروگاه‌های گداخت هسته‌ای تأمین شود. چه کسی می‌داند، شاید شما نیز هنگامی‌که بزرگ شدید توانستید چیزی حتی بهتر و پیشرفته‌تر بسازید.

اما برای این‌کار به کمی دانش نیاز دارید. بدون این دانش ویژه، فهمیدن این‌که در یک نیروگاه هسته‌ای انرژی چگونه بر اثر شکافت هسته تولید می‌شود نسبتاً مشکل خواهد بود. این مطلب، یعنی تولید انرژی هسته‌ای، برای بسیاری از مردم یک راز است، ولی با خواندن این کتاب می‌توانید آن را بفهمید.

بیایید با هم به درون جهان فیزیک هسته‌ای سفر کنیم. طی این سفر هیجان‌انگیز خواهید دید که اتم‌ها از چه چیزهایی ساخته شده‌اند، هسته‌های آنها چه پرتوهایی را می‌تابانند و چه نیروهای توانمندی در درون آنها پنهان است؛ و البته خواهید دید یک نیروگاه هسته‌ای چگونه کار می‌کند. شما خواهید توانست که طبیعت جهان پیرامون‌تان و فرایندهایی را که بدون آن‌ها زندگی غیرقابل تصور است بهتر درک نمایید.

سفرخوش!

پیش به سوی سفری دور و دراز

شاید این‌قدر خوش‌شانس بوده باشید که همراه با خانواده‌تان، یا با هم شاگردی‌های خوبتان با یک کشتی تفریحی به سفری دریایی رفته باشید. ممکن است بادی که به صورتتان وزیده، بالا و پایین رفتن کشتی بر روی امواج، و سوسوزدن‌های آفتاب روی آب دریا را هنوز به یاد داشته باشید. بیایید با هم سوار بر قایقی همراه با رودخانه‌ی توگلا[1] به سمت اقیانوس هند سفر کنیم.

تصور کنید همراه با رودخانه در حرکت‌ایم. رودخانه از میان دره‌های سرسبز و جنگلی، و گرد جزایر می‌پیچد و پیش می‌رود و مدام باریک و پهن می‌شود. روی عرشه ایستاده‌اید و می‌پندارید کاپیتان کشتی هستید و آن را هدایت می‌کنید!

اکنون تجسم کنید که سواحل دارند کم کم از شما دور، و سپس ناپدید می‌شوند، اما حالا دیگر از رودخانه دور شده‌اید و دارید آرام آرام وارد اقیانوس هند می‌شوید و به سمت

۱. توگلا بزرگ‌ترین رود آفریقای جنوبی است که حدوداً ۵۰۲ کیلومتر طول دارد و به اقیانوس هند می‌ریزد.

کشورهای دوردست می‌رانید. دلفین‌ها و ماهی‌های پرنده دارند از آب بیرون می‌پرند و باله‌هایشان در آفتاب می‌درخشد. موتور کشتی هم یکنواخت کار می‌کند.

مستقیم به سمت مقصد حرکت می‌کنید و کیلومترها پیش رفته‌اید ... که ناگهان، مسئول سوخت که اتفاقاً یکی از دوستان خوب شماست اعلام می‌کند که مخازن سوخت کشتی تقریباً خالی شده‌اند. چه کار می‌کنید؟

کاری نمی‌توانید بکنید. سفرتان را باید متوقف کنید و به نزدیک‌ترین بندرگاه بروید و مخازن سوخت‌تان را پر کنید. و در ادامه مسیر، باید مرتب از یک بندر به بندر بعدی بروید و وقت گرانبهایتان را تلف کنید، انگار که کشتی‌تان عملاً توسط یک رشته طناب نامرئی به بنادری که جایگاه‌های سوخت دارند بسته شده است.

بله، در سفرهای طولانی برروی اقیانوس، موتور کشتی‌تان به راحتی و رایگان کار نمی‌کند. این موتور با سوختی کار می‌کند که از نفت تهیه شده است. سوزندان نفت مقرون به صرفه نیست، چرا که شیمی‌دان‌ها می‌توانند از نفت چیزهای مفید زیادی، مانند پلاستیک، پارچه، دارو، رنگ و حتی عطر تهیه کنند.

PAINT

با سوختن نفت در موتور کشتی، آلاینده‌های مضر زیادی از دودکش وارد هوا می‌شود.

پس چاره چیست؟

مشکلی نیست! همین الان کشتی‌های مدرنی هستند که هسته‌ای‌اند و می‌توانند سال‌ها بدون نیاز به سوخت‌گیری مجدد و بی وقفه به سفرشان در دریاها ادامه دهند! چرا؟ چون فقط از مقدار بسیار کمی سوخت هسته‌ای استفاده می‌کنند.

برای مثال، در یک سفر صد روزه بر روی دریایی یخ‌زده، یک کشتی یخ‌شکن مدرن با موتوری مجهز به دو راکتور هسته‌ای فقط ۱۵ کیلوگرم اورانیم مصرف می‌کند! اما اگر همان کشتی یخ‌شکن از موتورهای دیزلی استفاده کند در همان مدت زمان در حدود ۳۰۰۰۰ تن سوخت دیزل یا گازوییل مصرف می‌کند. ۳۰/۰۰۰/۰۰۰ کیلوگرم گازوییل در برابر ۱۵ کیلوگرم اورانیم! یعنی دو میلیون برابر بیش‌تر! این مقدار گازوییل به راحتی در یک کشتی یخ‌شکن جا نمی‌گیرد! چه رسد به زیردریایی‌ها، که برای انجام مأموریت‌های نظامی مجبورند هر بار برای هفته‌ها یا حتی ماه‌ها در اعماق اقیانوس‌ها به سر برند. پس کاملاً آشکار است که فقط کشتی‌ها و زیردریایی‌های مجهز به موتورهای هسته‌ای می‌توانند به سفرهای دراز و بدون توقف به دور دنیا بروند و یا ماه‌ها در زیر آب بمانند.

بنابراین، برای حل معضل سوخت‌گیری‌های پی‌درپی می‌توانیم کشتی‌هایمان را هسته‌ای کنیم! برای این‌کار، یک راکتور هسته‌ای به عنوان موتور پیشران روی کشتی نصب می‌کنیم و راه می‌افتیم! بدون نیاز به حتی یک بار توقف می‌توانیم به قطب جنوب، یا حتی به دور دنیا سفر کنیم.

اما کار با یک راکتور هسته‌ای به متخصصان کار آزموده و ماهر نیاز دارد و برای فرمان دادن به ملوانان و هدایت کشتی، کاپیتان خودش نیز باید بداند که چنین کشتی‌ای چگونه کار می‌کند؟ موافق نیستید؟

پس حالا، دوست کنجکاوم، بیایید مسیرمان را عوض کنیم و غرق جهان دلربای **اتم‌ها** شویم.

اتم‌ها از چه تشکیل شده‌اند؟

مطمئنم که از سال‌ها قبل، وقتی‌که خیلی کوچک بودید، واژه‌ها و عباراتی مانند هسته، اتم، انرژی هسته‌ای، نیروگاه هسته‌ای، عصر اتم و ... به گوشتان خورده است.

پروتون

احتمالاً همه می‌دانید که اتم‌ها ذرات بسیار کوچکی‌اند که هر چیزی در دنیا از آن‌ها ساخته شده است؛ هوایی که نفس می‌کشیم؛ آبی که می‌نوشیم و در آن شنا می‌کنیم؛ زمینی که روی آن راه می‌رویم؛ غذایی که می‌خوریم؛ ظروف، اسباب‌بازی‌ها، لباس‌ها، کتاب‌ها، خودروها، خانه‌ها، کوه‌ها، ابرها، ماه، خورشید، ستارگان، ... و همه‌ی موجودات زنده از جمله شما و من، مادر و پدرتان، بهترین رفیق‌تان و هر انسان یا جاندار دیگری روی این کره خاکی.

نوترون

ولی اتم‌ها واقعاً چه هستند؟ شبیه چه چیزی‌اند؟ خودشان از چه چیزی تشکیل شده‌اند؟ برای درک و پاسخ به این پرسش‌ها باید این سه واژه‌ی بسیار مهم را بفهمید و همواره در خاطرتان نگه‌دارید: **پروتون، نوترون و الکترون.** این واژه‌ها نام ذراتی هستند که هر چیزی در دنیا، از جمله خود اتم‌ها، از آن‌ها ساخته شده‌اند.

الکترون

این ذرات به قدری کوچک و ریز هستند که برای من و شما حتی تصور اندازه‌شان بسیار سخت است. با وجود این، تلاش‌مان را ادامه می‌دهیم.

تصور کنید که ناگهان یک اتم با ابعاد یک آنگسترم ($۱۰^{-۸}$ سانتی‌متر) به اندازه‌ی یکی از دکمه‌های پیراهن‌تان (از مرتبه یک سانتی‌متر) بزرگ شود. همچنین، تصور کنید یک بچه گربه به همان نسبت مانند آن اتم بزرگ شود. در این صورت، این بچه‌گربه آن‌قدر بزرگ می‌شود که حتی بین زمین و خورشید هم‌جا نمی‌شود! در چشم چنین بچه‌گربه‌ای خورشید به اندازه یک نخود است! اگر قرار بود این بچه‌گربه با خورشید بازی کند، با یک هُل کوچک می‌توانست خورشید را تا مسافت بسیار دوری بغلتاند. پس نه؛ بگذارید هر چیز همان اندازه که هست بماند. پروتون‌ها، نوترون‌ها و الکترون‌ها بسیار کوچک باشند، و بچه‌گربه فقط آن اندازه بزرگ باشد که برای بازی با یک کلاف نخ کافی است.

پروتون ذره‌ای سفت و سخت، و حدوداً دو هزار برابر از الکترون سنگین‌تر است. (نسبت وزن یک پروتون به وزن یک الکترون مثل نسبت وزن یک کرگدن است به وزن یک بچه گربه!)

پس تعجبی ندارد که یک پروتون در مرکز اتم می‌نشیند، و الکترون سبک در اطراف آن بی‌وقفه می‌چرخد، درست مثل ماهواره‌ای که به دور زمین می‌چرخد. فیزیکدانان و شیمی دانان

به آن‌چه که در مرکز اتم قرار دارد **هسته اتم** می‌گویند. این تصویریست که فیزیک‌دان مشهور انگلیسی، **ارنست رادرفورد**[1]، در سال ۱۹۱۱ میلادی با انجام آزمایش‌هایی بر روی اتم‌ها از ساختار اتم به ما ارایه داد.

یک اتم بنیادیِ ساده از چه چیزهایی ساخته شده است؟ چنین اتم ساده‌ای فقط یک پروتون و یک الکترون دارد و نوترونی ندارد. این اتم، اتم سبک‌ترین گاز، یعنی هیدروژن است. حالا می‌فهمید که چرا هیدروژن این قدر «**سبک**» است. هیدروژن پانزده برابر از هوا سبک‌تر است، و بالونی که با هیدروژن پر شود به سمت آسمان بالا می‌رود.

پس نوترون کجاست و به چه دردی می‌خورد؟ اگر یک نوترون به پروتون هسته اتم ساده‌ی هیدروژن بچسبد **هیدروژن سنگین**[2] به دست می‌آید که دانشمندان به آن **دوتریم**[3] می‌گویند.

حالا اتم ما هر سه ذره را دارد: یک پروتون، یک نوترون و یک الکترون.

بعد از اضافه شدن یک نوترون به تنها پروتون هسته هیدروژن سبک، هیدروژن چقدر سنگین‌تر می‌شود؟ بیایید حساب کنیم. جرم یک نوترون با جرم یک پروتون برابر است.

---

1. Rutherford
2. Heavy Hydrogen
3. Deuterium

بنابراین جرم هسته و جرم کل اتم پس از افزودن نوترون دو برابر می‌شود (جرم الکترون نسبت به جرم پروتون‌ها یا نوترون‌ها آن‌قدر کم است که به راحتی می‌توان از آن چشم پوشید). جالب است که می‌توانیم هیدروژن را باز هم سنگین‌تر کنیم! اگر یک نوترون دیگر به هسته‌ی هیدروژن سنگین (دوتریم) که یک پروتون و یک نوترون دارد اضافه کنیم، گاز هیدروژن **فوق‌سنگین** به دست می‌آید که به آن **تریتیم**[1] می‌گویند.

اتم تریتیم سه برابر از اتم هیدروژن سنگین‌تر است. اما حتی هیدروژن فوق سنگین، تریتیم، نیز هنوز از اتمی مانند اکسیژن خیلی سبک‌تر است، در حدود پنج برابر سبک‌تر.

پس متوجه شدیم که هیدروژن سبک، «**خویشاوندان**» سنگین‌تری به نام‌های دوتریم و تریتیم دارد.

آیا این خویشاوندان کاملاً شبیه هم‌اند؟ یک اتم هیدروژن در هسته‌اش یک پروتون دارد، و یک اتم دوتریم یک پروتون و یک نوترون، و یک اتم تریتیم یک پروتون و دو نوترون.

1. Tritium

پس با این همه تفاوت، چرا به دوتریم و تریتیم باز هم هیدروژن می‌گوییم؟

پاسخ: هیدروژن به‌خوبی می‌سوزد، و در حین سوختن، اتم‌های آن با اتم‌های یک گاز دیگر، یعنی اکسیژن، ترکیب می‌شود، و **آب** تولید می‌شود. دوتریم هم به‌خوبی می‌سوزد، و وقتی با اکسیژن ترکیب می‌شود دوباره آب به‌دست می‌آید. یعنی دوتریم هم مانند هیدروژن **آب‌زا** است. «هیدرو» یعنی آب و «ژن» یعنی زا، و **هیدروژن** یعنی **آب‌زا**. آبی که از دوتریم به‌دست می‌آید به **آب سنگین** معروف است، ولی با آب معمولی چندان تفاوتی ندارد. ما تفاوت **آب فوق سنگین** (که از ترکیب هیدروژن فوق سنگین، یا تریتیم، با اکسیژن به‌دست می‌آید) با آب معمولی را نیز نمی‌توانیم حس کنیم، چون تفاوت‌شان بسیار ناچیز است. در یک لیوان آب عادی مقادیر بسیار ناچیزی از آب سنگین و نیز از آب فوق‌سنگین وجود دارد!

هر سه نوع اتم هیدروژن؛ یعنی هیدروژن‌های سبک، سنگین، و فوق‌سنگین، نه تنها با اکسیژن، که با هر ماده‌ی دیگری به طور یکسان واکنش می‌دهند.

پس نتیجه می‌گیریم اضافه شدن نوترون‌ها به هسته‌ی هر اتم فقط جرم هسته یا جرم آن اتم را بالا می‌برد و روی واکنش آن‌ها با اتم‌های مواد دیگر هیچ اثری نمی‌گذارد! فیزیک‌دانان

به اتم‌ها یا عناصری که تفاوت‌شان تنها در تعداد نوترون‌های درون هسته‌ی آن‌هاست **ایزوتوپ‌های**[1] آن اتم یا عنصر می‌گویند.

آب

1. Isotopes

ذرات یک اتم چه گونه به هم چسبیده‌اند؟

الکترون‌های یک اتم، انگار که هر یک توسط یک **بند** الکتریکی[1] نامرئی به هسته وصل‌اند و دائماً به دور هسته آن در چرخش‌اند. این «**بند** الکتریکی» چیست و از کجا می‌آید؟ برای پاسخ، به این داستان خوب گوش کنید:

بیش از دو هزار و پانصدسال پیش در شهری با نام **میله‌توس**[2]، در یونان باستان، دانشمندی بزرگ با نام **تالس**[3] زندگی می‌کرد.

یک روز دخترش که در حال پشم‌ریسی با یک دوک از جنس کهربا بود ناگهان متوجه شد که رشته‌های پشم جذب دوک می‌شوند و به آن می‌چسبند! علت این پدیده را از پدرش پرسید و پدر این پرسش را با شوق و دقت فراوان بررسی کرد و دریافت که کهربا پس از مالیده شدن به پشم، نه تنها رشته‌های پشم که رشته‌های نخ، مو و کاه را هم جذب می‌کند.

---

1. Electric "thread", واژه‌ی «**بند**» در فارسی با واژه‌ی «**باند**» در انگلیسی، به معنای پیوند، هم‌ریشه است.
2. Miletus
3. Thales

در زبان یونانی به کهربا **الکترون**[1] می‌گویند. سال‌ها بعد، توانایی کهربا در جذب اشیای کوچک را (پس از مالش با پشم) **«الکتریسیته»**[2] نامیدند. در آن زمان، دیگر به خوبی می‌دانستند که اگر یک قطعه‌ی شیشه‌ای را به یک پارچه بمالند آن قطعه‌ی شیشه‌ای نیز برخی اشیای سبک را جذب

1. Electron
2. Electricity

می‌کند. در این میان، خیلی تعجب برانگیز است که اگر کسی یک پارچه‌ی پشمی را به دو مهره‌ی **کهربایی** چندبار سریع بمالد و سپس آن دو مهره را به هم نزدیک کند مهره‌ها همدیگر را پس می‌زنند و از هم دور می‌شوند. اگر با یک پارچه‌ی ابریشمی دو مهره‌ی **شیشه‌ای** را بمالیم آن مهره‌ها نیز همدیگر را پس می‌زنند، ولی اگر یکی از مهره‌های **کهربایی** را که (پس از مالش با پارچه پشمی) باردار شده است به یکی از مهره‌های شیشه‌ای، که آن هم توسط پارچه ابریشمی باردار شده است، نزدیک کنیم، آن مهره‌ها درست برعکس عمل می‌کنند– همدیگر را جذب می‌کنند!

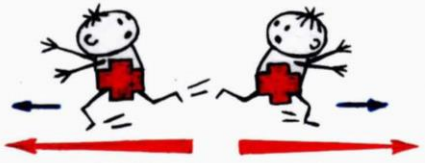
بنابراین، دانشمندان متوجه شدند که الکتریسیته‌ی کهربای باردار با الکتریسیته شیشه‌ی باردار تفاوت دارد. پس الکتریسیته‌ی «شیشه» را **مثبت** و الکتریسیته‌ی «کهربا» را **منفی** نامیدند و آن‌ها را به ترتیب با علائم مثبت (+) و منفی (–) نشان دادند. اما این اصلاً عادلانه نیست، الکتریسیته کهربا که زودتر از الکتریسیته‌ی شیشه کشف شد، پس چرا به آن «منفی» می‌گویند؟ حالا دیگر کار از کار گذشته، و برای تغییر تاریخ خیلی دیر شده است!

در پایان قرن نوزدهم میلادی فیزیک‌دانان توانستند که وجود ذرات بسیار کوچکی را که حامل الکتریسیته‌ی منفی‌اند، یعنی درست همان الکتریسیته‌ی مهره‌های کهربایی، اثبات کنند. پس این ذرات را الکترون نامیدند (به یاد دارید که واژه‌ی «الکترون» در زبان یونانی یعنی کهربا).

بارهای منفی از هم متنفرند و همدیگر را می‌رانند.

پس از آن همه به روشنی می‌دانیم که بر سر یک کهربا، پس از مالش با پارچه‌ای پشمی، چه می‌آید: کهربا تعدادی از الکترون‌های پارچه‌ی پشمی را می‌کَند و جذب خود می‌کند،

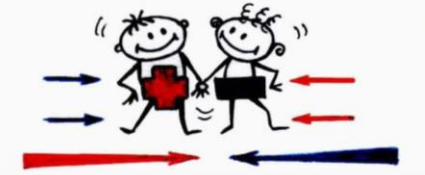
و بنابراین، بار منفی پیدا می‌کند، بارهای منفی‌ای که تنگاتنگ کنار هم قرار می‌گیرند.



بارهای مثبت نیز از هم متنفرند و همدیگر را می‌رانند.

الکترون‌ها از کجا می‌آیند؟ از پارچه‌ی پشمی، بله البته!

در این صورت، بعد از کَنده شدن این الکترون‌ها، بر سر پارچه پشمی چه می‌آید؟ آیا بار مثبت پیدا می‌کند؟ بله. کاملاً درست است!



اما بارهای مخالف با هم دوست‌اند و همدیگر را می‌ربانید!

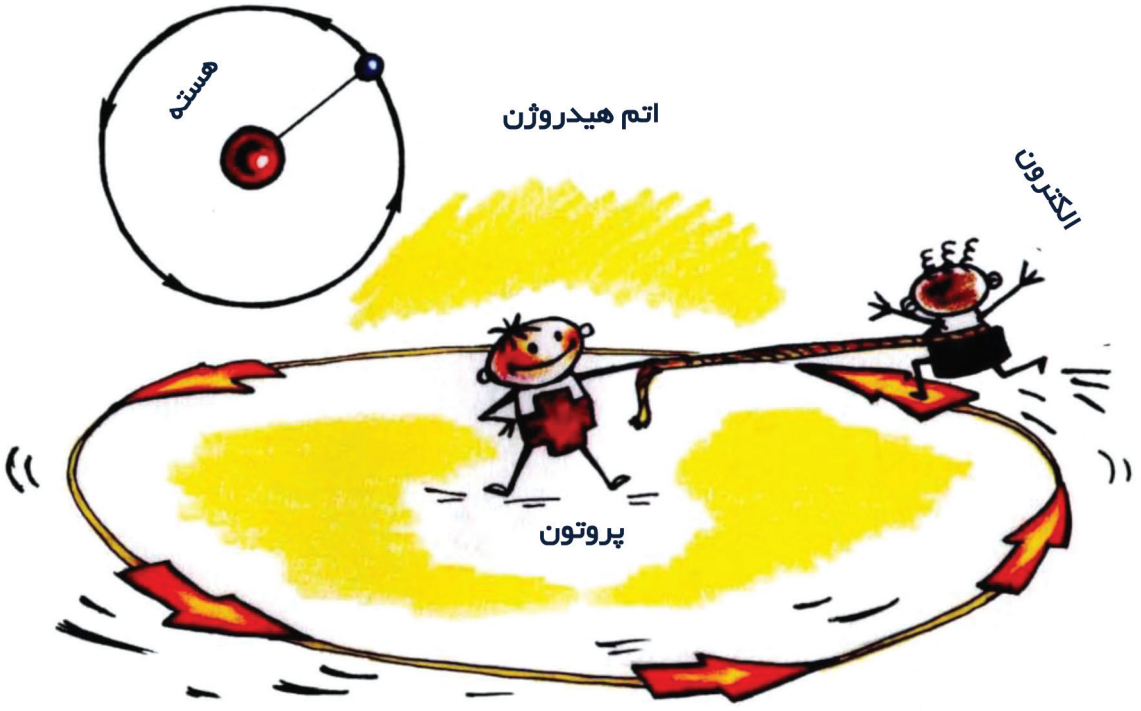
دوست دارید «**مثبت**» شوید؟ مثبت شدن بسیار ساده است. تنها کافیست تا آن‌جا که ممکن است از موهایتان الکترون بکَنید. یک شانه بردارید و با آن چند بار موهایتان را شانه بزنید (یادتان باشد که موهایتان باید خشک، و شانه پلاستیکی باشد).

«کَندن الکترون‌ها!» ... کمی عجیب به نظر می‌رسد. این‌طور نیست؟

اما الکترون‌ها واقعاً از موها کَنده، و به روی شانه منتقل می‌شوند، و شانه بار منفی پیدا می‌کند. در عوض، موهایتان بار مثبت پیدا می‌کنند. حالا متوجه شدید که چطور و چقدر راحت می‌توانید «مثبت» شوید.

کوچک‌ترین بار در جهان بار الکتریکی الکترون‌ها است. دانشمندان هنوز باری کوچک‌تر از بار الکترون پیدا نکرده‌اند. کمی بعد از کشف الکترون‌ها معلوم شد که این ذرات باردار منفی بسیار کوچک، یعنی الکترون‌ها، در هر اتمی وجود دارند. پس به نظر می‌رسد که اتم‌ها هم باید بار منفی داشته باشند. اما این طور نیست. چون اتم‌ها هیچ نوع خاصیت الکتریکی‌ای از خود بروز نمی‌دهند. به عنوان مثال، همانطور که می‌دانید در هر اتم هیدروژن یک الکترون وجود دارد، اما خود اتم باردار نیست. چرا؟ بار منفی الکترون‌های درون اتم‌های هیدروژن کجا می‌رود؟

در واقع جایی نمی‌رود. دانشمندان متوجه شده‌اند که درون اتم هیدروژن یک بار الکتریکی دیگر پنهان است، یک بار مثبت. از نظر مقدار، این بار مثبت با بار منفی الکترون دقیقاً برابر است، و درست به همین دلیل است که گویی هیچ بار الکتریکی‌ای در اتم نیست، نه منفی و نه مثبت. این پروتون است که بار مثبت دارد!



حال می‌فهمید که چه نوع «بند الکتریکی»ای الکترون را به پروتون وصل می‌کند ـ ذرات باردار منفی توسط ذرات باردار مثبت جذب می‌شوند. اندازه‌ی بار مثبت پروتون با اندازه‌ی بار منفی الکترون برابر است. بنابراین، در درون اتم، هر پروتون می‌تواند توسط این «بند الکتریکی»، یعنی این نیروی جاذبه، یک الکترون را نگه دارد. به این اتم نمی‌توان الکترون دیگری اضافه کرد چرا که دیگر ظرفیت نگه‌داشتن این یکی را ندارد.

تنها در صورتی می‌توان به یک اتم الکترون دیگری اضافه کرد که به هسته‌ی آن یک پروتون اضافه شود، چراکه هسته حالا می‌تواند آن‌را در خود نگه دارد[1].

نیروهای هسته‌ای چه هستند؟

فرض کنید که در مرکز اتم شما، یعنی در هسته، دو پروتون و دو نوترون داریم، و در پیرامون آن دو الکترون می‌چرخد. آیا می‌دانید که چه چیزی ساخته‌اید؟ اتم هلیم، گازی کاملاً متفاوت، و با خواصی کاملاً متفاوت و حتی متضاد با هیدروژن! اتم هیدروژن می‌تواند با اتم‌های گوناگونی پیوند برقرار کند، و برعکس، هلیم به هیچ اتمی نمی‌پیوندد!

---

۱. در این صورت، آن اتم به اتم دیگری تبدیل می‌شود (مترجم).

حال به درستی دیدید که جهان اتم‌ها چقدر شگفت‌انگیز است. یک نوترون به هسته ساده‌ترین اتم، یعنی هیدروژن، اضافه کردیم و اتم سنگین‌تری، باز از جنس هیدروژن، به‌دست آوردیم: یعنی هیدروژن باز هیدروژن باقی ماند. و بعد یک نوترون دیگر هم اضافه کردیم و اتم سنگین‌تر شد، ولی باز هم خواص هیدروژنی آن تغییری نکرد. اما با اضافه کردن یک پروتون، «خواص» و «رفتار» اتم هیدروژن کاملاً تغییر کرد، گویی عصایی جادویی به آن خورده باشد! اندازه و جرم یک پروتون با اندازه و جرم یک نوترون برابر است، و تنها تفاوت این است که پروتون یک بار مثبت دارد و نوترون باری ندارد و «خنثی» است. به همین علت اگر به اتمی نوترونی اضافه یا از آن کم شود بار الکتریکی آن اتم تغییری نمی‌کند.

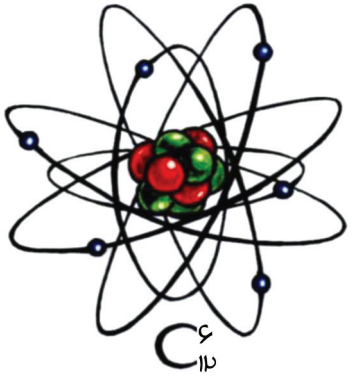
اما هنگامی‌که یک پروتون به اتم هیدروژن اضافه می‌شود، بار الکتریکی هسته‌ی آن دو برابر می‌شود. خواص هر اتم، قبل از هر چیزی به بار هسته آن اتم وابسته است.اما چگونه می‌توان پروتون‌های درون هسته را، که همگی مثبت‌اند، در کنار هم قرار داد؟ چون به یاد دارید که ذرات با بار مشابه همدیگر را دفع می‌کنند. پس به نظر می‌رسد که پروتون‌ها نمی‌توانند در کنار هم قرار بگیرند و هسته‌ها باید در نهایت از هم بپاشند.

اما باور می‌کنید که هسته‌ها از هم نمی‌پاشند؟! و عجیب‌تر این که «ساختار» بسیاری از هسته‌های اتمی به طرز شگفت‌انگیزی مستحکم است. درون هسته‌ها نیروهای جاذبه‌ای بسیار قوی‌ای وجود دارند که پروتون‌های هم بار را، با وجود نیروی دافعه بین شان، مجبور می‌کنند که در کنار هم بمانند. فیزیکدانان به چنین نیروهایی، **نیروهای هسته‌ای** می‌گویند.

حال، به هسته‌ی اتم هلیم چهار تا پروتون و چهار تا نوترون دیگر اضافه می‌کنیم. در این صورت در هسته شش پروتون و شش نوترون داریم. آیا می‌توانید حدس بزنید که چند تا الکترون باید در اطراف این هسته جدید بچرخند؟ بله، شش تا، دقیقاً به اندازه‌ی تعداد پروتون‌های درون هسته. یک زنجیر دایره‌ای کامل!

با این تعداد الکترون، اتم کربن به‌دست می‌آید، ماده‌ای که خیلی از اوقات با آن سر و کار پیدا می‌کنیم. به عنوان مثال، مغز مدادهای معمولی از گرافیت، و گرافیت خودش از اتم‌های کربن تشکیل شده است. می‌توانیم هسته‌ی اتم‌های سنگین‌تر را هم، مثالاً آهن را، که ۲۶ پروتون و ۳۰ نوترون دارد، بسازیم. نقره ۴۷ پروتون و ۶۱ نوترون، و طلا ۷۹ پروتون و ۱۱۸ نوترون دارد. حدس می‌زنید هسته‌ی اتم اورانیم چند تا پروتون و چند تا نوترون دارد؟

برای پاسخ به این پرسش بیایید اتم اورانیم را از نزدیک ببینیم. همه‌ی اتم‌ها ساختار یکسانی دارند. هسته‌ای در مرکز و الکترون‌هایی سبک و بی‌قرار و همواره چرخان در فواصلی گرداگرد آن هسته. درون هسته، نوترون‌ها و پروتون‌های سنگین محکم در کنار هم نشسته‌اند. در اغلب هسته‌های اورانیم ۹۲ پروتون و ۱۴۶ نوترون (مجموعاً ۲۳۸ ذره)، و در برخی از آنها هم‌چنان ۹۲ پروتون، ولی ۱۴۳ نوترون (مجموعاً ۲۳۵ ذره) قرار دارد.



همان‌طور که به یاد دارید، اتم‌هایی که تنها تفاوتشان در تعداد نوترون‌های درون هسته آن‌ها باشد ایزوتوپ نام دارند. به مجموع تعداد پروتون و نوترون‌های درون هسته **عدد جرمی** می‌گویند. معمولاً همراه با نام ایزوتوپ‌ها این عدد را نیز بیان می‌کنند. به عنوان مثال، به دو ایزوتوپ اورانیم که در بالا در موردشان سخن گفتیم اورانیم ۲۳۸ و اورانیم ۲۳۵ می‌گویند. به یاد بسپرید که در راکتورهای هسته‌ای به عنوان سوخت از ایزوتوپ سبک‌تر، یعنی اورانیم ۲۳۵، استفاده می‌شود، اگرچه مقدار آن در طبیعت نسبت به اورانیم ۲۳۸ بسیار کم‌تر است.

اکنون به آن بخش مهمی رسیده‌ایم که می‌توانیم دریابیم که چگونه می‌توان انرژی هسته‌ای تولید کرد.

آیا می‌دانید چرا اورانیم- ۲۳۵ تنها ماده‌ای است که می‌توان از آن به عنوان سوخت در راکتورتان استفاده کنید؟ چون اتم‌های آن ویژگی‌هایی یگانه دارند. هر از چندگاهی یکی از هسته‌های اورانیم- ۲۳۵ ناگهان و خود به خود « **بُمب**» می‌ترکد!!! و دو یا چند پاره می‌شود. در این واپاشی دو یا سه نوترون از هسته با سرعتی سرسام‌آور، **ده‌ها هزار کیلومتر در هر ثانیه!**، به بیرون می‌پرند. به محض برخورد این نوترون‌ها با هسته‌ی یک اورانیم-۲۳۵ دیگر، که برای واپاشی خودبه‌خود هنوز آماده نشده است، هسته‌ی آن نیز «**بُمب**» از هم می‌پاشد و چند پاره می‌شود و نوترون‌های دیگری از هسته‌ی آن به پرواز درمی‌آیند. هر هسته با یک نوترون از هم می‌پاشد، اما بار دیگر، دو یا سه نوترون از آن هسته‌ی شکافته شده به بیرون می‌جهد، که آن‌ها نیز به نوبه‌ی خود با هسته‌های دیگر برخورد، و آن‌ها را متلاشی می‌کنند. به این ترتیب، نوترون‌های بیش‌تر و بیش‌تری تولید، و هسته‌های بیش‌تر و بیش‌تری شکافته می‌شوند. این پدیده همان **واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای** است که انرژی عظیمی از آن آزاد می‌شود.

اورانیم

سوخت هسته‌ای چگونه می‌سوزد؟

برای این‌که واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای با آن سرعتی که می‌خواهیم پیش رود، یعنی نه چنان تند و برق‌آسا که آناً منجر به انفجار شود، غنای اورانیم–۲۳۵ درون سوخت هسته‌ای نباید خیلی زیاد باشد؛ تنها چند درصد کافیست.

حال، به نظر شما چه نوترون‌هایی هسته‌های اورانیم را بهتر می‌شکافند و از هم می‌پاشند، نوترون‌های تُند یا کُند؟ شاید بگویید نوترون‌های تند. اما برعکس، نوترون‌های کُند به مراتب بهترند! این‌ها رفتارهای عجیب و غریبی هستند که تنها در جهان بسیار ریز اتم‌ها رخ می‌دهند!

بدین‌سان، اگر نوترون‌های کُند بهتر از نوترون‌های تند هسته‌های اورانیم- ۲۳۵ را می‌شکافند، باید نوترون‌ها را، که قبلاً گفتیم سرعت‌های سرسام‌آوری دارند، نخست کُند کنیم. برای کُند کردن نوترون‌ها از **کُندکننده‌هایی** مانند گرافیت یا آب استفاده می‌شود. نوترون‌های تند در کُندکننده‌ها **گیر** می‌کنند، تقریباً مثل کسی که بخواهد در آب بدود. به راکتورهایی که از این کندکننده‌ها استفاده می‌کنند **راکتورهای با نوترون کُند (حرارتی)** می‌گویند.

البته راکتورهایی نیز هستند که با نوترون‌های تند کار می‌کنند. به عنوان مثال، راکتوری از این نوع در روسیه هست که تنها راکتور «تند» صنعتی جهان است که با موفقیت کار می‌کند. اما فیزیکدانان اولین راکتورها را بر پایه‌ی نوترون‌های کُند ساختند. دقیقاً چنین راکتوری در اولین نیروگاه هسته‌ای جهان، در شهر کوچک **اُبنینسک**،[1] در فاصله‌ای نه چندان دور از مسکو، بیش از ۶۰ سال پیش، در ژوئن ۱۹۵۴ میلادی (خرداد و تیر ۱۳۳۳ شمسی)، راه‌اندازی و در آن از انرژی هسته‌ای برای تولید برق استفاده شد. شایان ذکر است راکتور مورد استفاده در بوشهر از نوع راکتورهای با نوترون کند (حرارتی) است.

1. Obninsk

واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای
نوترون
هسته‌ی اورانیم
U ۲۳۵
U ۲۳۵
U ۲۳۵

نوترون‌ها هسته‌ها را می‌شکافند و **چند پاره** می‌کنند. بعد چه اتفاقی می‌افتد؟ در واقع به این پاره‌های حاصل از شکافت اورانیم دیگر نمی‌توانیم **پاره‌های** اورانیم- ۲۳۵ بگوییم. چرا که هر یک از آنها، بعد از واکنش شکافت، خودشان هسته‌ی اتمی کاملاً متفاوت را تشکیل می‌دهند. بیشتر این پاره‌های شکافت هسته‌های فلز استرانسیم و گاز سنگین زینان هستند. به این معجزه‌ای که رخ داده دوباره فکر کنید؛ یک ماده به دو ماده دیگر، که هیچ شباهتی با ماده اولیه ندارند، تبدیل شده است! درست مثل این است که یک سوسک (نوترون) روی یک فیل (اورانیم- ۲۳۵) بنشیند و ناگهان به جای فیل، یک زرافه و یک کروکودیل، با چند تا سوسک در حال پرواز، ظاهر شود.

پاره‌های هسته اورانیم، درست مثل نوترون‌ها، با سرعت بسیار زیادی از هم جدا و دور می‌شوند. اما برخلاف نوترون‌ها، وقتی با اتم اورانیم‌های مجاور برخورد می‌کنند، هسته‌ی آن‌ها را از هم نمی‌شکافند بلکه تنها آن‌ها را تکان می‌دهند و به لرزش وا می‌دارند. در این حال، اتم‌های اورانیم سریع‌تر و سریع‌تر «می‌رقصند» و میله‌های سوختی که این اتم‌های رقصان و **بی‌قرار** در درون آنها **قرار** دارند!، آنقدر گرم می‌شوند که اگر درون آب باشند، آب می‌جوشد و تبخیر می‌شود. از این بخار برای تولید انرژی الکتریکی، یا همان برق، استفاده می‌کنیم. جریان

بخار توربینی را می‌چرخاند، و توربین نیز به نوبه خود یک ژنراتور یا مولد الکتریکی را برای تولید برق می‌چرخاند. سپس، با کمک یک موتور الکتریکی، می‌توانیم از این برق برای چرخاندن ملخ کشتی‌مان استفاده کنیم. اما اگر راکتور در یک نیروگاه هسته‌ای نصب شود، انرژی الکتریکی تولید شده در آن از طریق سیم‌های برق وارد کارخانجات می‌شود؛ شهرها، مدارس و خانه‌ها را روشن می‌کند؛ و هزاران فایده دیگر دارد که به مردم کمک می‌کند تا کار کنند، آموزش ببینند و راحت و شاد زندگی کنند.

نوترون‌های اضافی را چطور گیر بیاندازیم و جذب کنیم؟

قبلاً گفتیم هنگامی که یک نوترون به هسته یک اتم اورانیم- ۲۳۵ برمی‌خورد تقریباً سه نوترون از آن هسته‌ی شکافته شده بیرون می‌پرد. این سه نوترون سه هسته‌ی دیگر را می‌شکافند و همینطور بار دیگر، سه نوترون از هر هسته‌ای شکافته شده بیرون می‌پرد. به این ترتیب نُه نوترون جدید از این سه هسته‌ی جدید شکافته شده بیرون می‌پرد. این نُه نوترون نُه هسته جدید دیگر را می‌شکافند و همین‌طور الی آخر. می‌بینیم تعداد نوترون‌ها، تعداد هسته‌های شکافته‌شده و مقدار انرژی تولیدی به طرز خطرناکی به سرعت افزایش می‌یابد!

به همین علت بسیار مهم است که بتوانیم واکنش‌های هسته‌ای را **تنظیم** و **کنترل** کنیم. در جهان یگانه‌ی هسته‌ها همواره یک دسته «متخصصان نوترون‌گیری» هستند که به ما در کنترل و ساماندهی راکتورهای هسته‌ای کمک می‌کنند. آنها به نوترون‌ها اجازه نمی‌دهند هر جا که می‌خواهند بروند، و تنها تا جایی که لازم است اجازه می‌دهند آزادانه پرواز کنند، نه بیشتر نه کمتر! ماده‌ای هست با نام **بور** که هسته‌های اتم‌های آن به ما کمک می‌کند تا واکنش‌های زنجیره‌ای را کنترل کنیم. اما توجه داشته باشید که هر نوع اتم بوری برای این کار مناسب نیست. تنها دو نوع ایزوتوپ بور داریم، ایزوتوپ‌های برادر بور–۱۰ و بور– ۱۱.

بور–۱۰ مانند عنکبوتی روی تارش منتظر می‌ماند تا نوترون‌های ناخواسته و اضافه‌ای را که از آنجا عبور می‌کنند گیر بیندازد و ببلعد. هر اتم بور–۱۰ می‌تواند یکی از این نوترون‌های ناخواسته را جذب هسته‌اش کند. بور– ۱۱ نوترون‌ها را نمی‌بلعد، آن‌ها را دفع می‌کند.

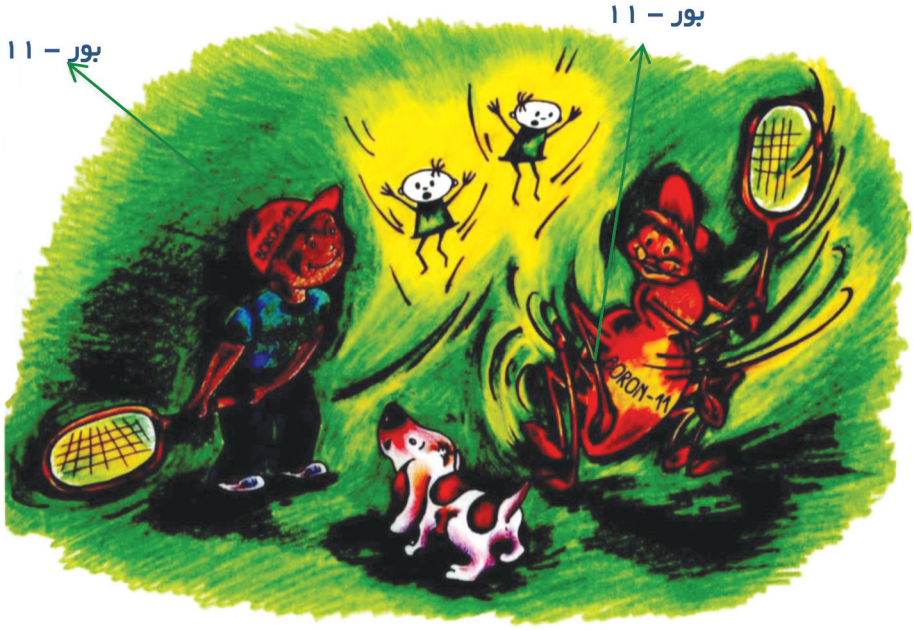
باید گفت که خاصیت «بلعیدن» نوترون‌های آزاد تنها مربوط به اتم بور– ۱۰ نیست، بلکه اتم‌های برخی از مواد دیگر، مانند فلز کادمیم، نیز این خاصیت را دارند. اگر اتم‌های بور– ۱۰ یا کادمیم زیادی به یک راکتور هسته‌ای تزریق شود آنگاه آن اتم‌ها تقریباً همه نوترون‌های آزاد

را خواهند بلعید، و راکتور، یا **کوره هسته‌ای**، خاموش می‌شود، درست مثل اینکه یک سطل آب را روی آتش بریزیم.

بنابراین، با کمک چنین موادی می‌توان میله‌هایی با نام **میله‌های کنترل** ساخت و در راکتور به کار برد. هنگامی که میله‌های کنترل همگی و به طور کامل درون راکتور باشند هیچ واکنش زنجیره‌ای نداریم.

حال، در چنین حالتی میله‌های کنترل را به آرامی بیرون می‌کشیم...

در این صورت، نوترون‌های کم‌تر و کم‌تری جذب این میله‌ها می‌شوند و نوترون‌های بیش‌تر و بیش‌تری آزاد باقی می‌مانند و واکنش زنجیره‌ای آغاز، و اورانیم آرام آرام گرم می‌شود. با بیش‌تر بیرون کشیدن میله‌های کنترل، نوترون‌های آزاد بیش‌تری در درون راکتور باقی می‌مانند و هسته‌های بیش‌تری از اتم‌های اورانیم–۲۳۵ را می‌شکافند، و راکتور بیشتر داغ می‌شود.



با پایین بردن میله‌ها، نوترون‌های آزاد کم‌تری درون راکتور پرواز می‌کنند و بنابراین، اتم‌های اورانیم کم‌تری شکافته و گرمای کمتری هم تولید می‌شود.

پس با کمک میله‌های کنترل می‌توان مقدار گرمای تولیدی در راکتور را به راحتی کنترل کرد.

البته، میله‌های کنترل توسط سیستم‌های کنترل خودکار و نه انسان، بالا یا پایین می‌روند.

نوترون‌های آزاد نمی‌توانند از راکتور فرار کنند، چون توسط یک حفاظ، و یا سپر ایمنی خاص که از اتم‌های خاصی ساخته شده است و نوترون‌ها را از خود می‌راند، جلوی نوترون‌هایی که می‌خواهند از راکتور فرار کنند گرفته می‌شود. به یاد دارید چه اتم‌هایی نوترون‌ها را از خود می‌رانند و یا باز می‌تابانند؟ بله. درست است، اتم‌های بور- ۱۱.

بور- ۱۱ را با فولاد مخلوط می‌کنند و سپس با کمک این فولاد برای راکتور یک حفاظ یا سپر بازتابنده می‌سازنند. با این سپر تقریباً هیچ نوترونی نخواهد توانست از درون راکتور به بیرون فرار کند. نوترون‌ها بعد از برخورد با هسته اتم‌های بور- ۱۱ پس می‌جهند و باز می‌تابند، درست مثل توپی پر باد که به دیواری سخت برخورد کند!

ایزوتوپ‌های پرتوزا چه پرتوهایی گسیل می‌کنند؟

با واژه «**ایزوتوپ**» قبلاً آشنا شده‌اید. ایزوتوپ‌ها اتم‌هایی‌اند که تعداد پروتون‌های آن‌ها یکسان ولی تعداد نوترون‌های‌شان متفاوت است. تا اینجا مطالبی درباره برخی از ایزوتوپ‌ها مانند ایزوتوپ‌های اورانیم (اورانیم–۲۳۵) و ایزوتوپ‌های بور (بور–۱۰ و بور–۱۱) آموخته‌اید. بسیاری از عناصر شیمیایی نوشته‌شده در جدول تناوبی ایزوتوپ‌هایی دارند، که برخی از آن‌ها پرتوزا (رادیواکتیو) هستند. راستی، منظور از «**پرتوزا**»[1] چیست؟

ریشه‌ی واژه‌ی «**رادیو**»، واژه‌ی لاتین «**رادی**» است به معنای «**شعاع**»، که در زبان انگلیسی از آن فعل «**ردی ایت**»[2] را ساخته‌اند، به معنای **تشعشع** یا **شعاع تابش**. بنابراین، ایزوتوپ‌های رادیواکتیو یا پرتوزا ایزوتوپ‌هایی‌اند که پرتویی را به صورت شعاعی از خود گسیل می‌کنند.

1. Radioactive
2. Radiate

یک ایستگاه رادیویی، امواج رادیویی، یک لامپ الکتریکی، نور و منابع حرارتی (مانند بخاری) گرما را **ردی ایت** می‌کند[1].

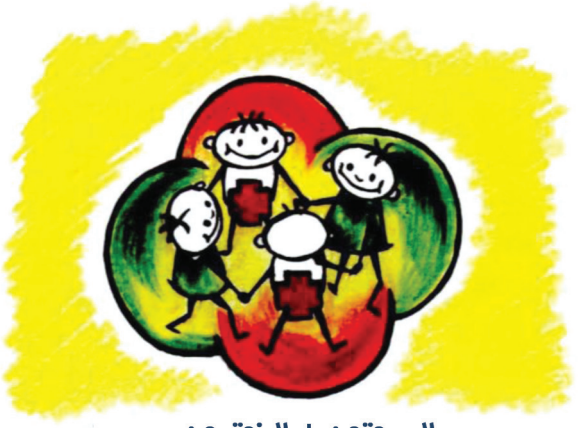
رادیو ایزوتوپ‌ها چه چیزی را **ردی ایت** می‌کنند؟ ایزوتوپ‌های بور–۱۰ و بور–۱۱، پرتوزا یا رادیواکتیو نیستند. اگر به هسته اتم بور–۱۱ یک نوترون دیگر اضافه کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ به بور–۱۲ تبدیل می‌شود. آیا این ایزوتوپ بور رادیواکتیو (پرتوزا) است؟

به محض اضافه شدن یک نوترون دیگر به هسته اتم بور–۱۱، آن هسته از هم می‌پاشد و دو پروتون و دو نوترون با سرعت بسیار بالایی در حدود **بیست هزار کیلومتر در هر ثانیه!** از آن بیرون می‌جهند. اما آنها انفرادی این کار را نمی‌کنند و چهارتایی، و در حالی که سفت به هم چسبیده‌اند، بیرون می‌پرند، انگار که با این کار ترس‌شان از پرواز با آن سرعت سرسام‌آور کمتر می‌شود! به ذره‌ای که از دو پروتون و دو نوترون محکم به هم چسبیده تشکیل شده است **ذره آلفا**، و به جریانی از ذرات آلفا، پرتو یا **تابش آلفا** می‌گویند.

---

۱. رادیو نیز دستگاهی است که امواج صوتی را (radiate) یا تشعشع و تابش می‌کند و ایستگاه‌های رادیویی نیز امواج رادیویی (الکترومغناطیسی) را به صورت شعاعی پخش می‌کنند (مترجم).

ذره آلفا که «**فرار**» کرد مابقی هسته وارد تغییرات بسیار جالبی می‌شود. حال بیایید به این تغییرات نگاهی دقیق‌تر بیندازیم و مسئله‌ی ساده‌ای را حل کنیم.



مسئله: در هسته اتم بور–۱۲، ۵ پروتون و ۷ نوترون وجود داشت. ۲ پروتون و ۲ نوترون به شکل ذره آلفا، بلافاصله بعد از تشکیل، آن هسته را ترک کردند. حالا چند تا پروتون و چند تا نوترون باقی مانده‌اند؟

جواب ساده: ۳ پروتون و ۵ نوترون. ولی در واقع اینطور نیست. به جای ۳ پروتون، ۴ پروتون، و به جای ۵ نوترون، نیز ۴ نوترون باقی می‌ماند! پروتون چهارم از کجا آمده و یکی از نوترون‌ها کجا

رفته است؟ یکی از نوترون‌ها به پروتون تبدیل شده است! و شگفتا که در حین تبدیل نوترون به پروتون، ذره‌ی دیگری هم تولید شده است، بله یک الکترون! اما قبلاً که در هسته الکترونی نبود! همانطور که به یاد دارید الکترون‌هایی در اطراف هسته اتم‌ها هستند و در مدارهای خاصی به دور آن‌ها می‌چرخند و در درون خود هسته، فقط پروتون‌ها و نوترون‌ها هستند.

این الکترون نوزاد حالا کجاست؟ رفته است! با سرعت بسیار زیادی، نزدیک به یک صدم سرعت نور[1]، یعنی با سرعتی در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه از مکان حادثه گریخته است! به الکترون‌هایی که در هسته‌ی ایزوتوپ‌های رادیواکتیو زاده می‌شوند ذرات بتا، و به جریان ذرات بتا **پرتو** یا **تابش بتا** می‌گویند. پس با این حساب، بور-۱۲ به محض تشکیل نه تنها یک ذره آلفا، که یک پرتو بتا نیز می‌تاباند. اما این هنوز پایان داستان نیست!

در لحظه‌ای که هسته‌ای بور-۱۲ داشت از هم می‌شکافت، برای ادای خداحافظی یک **پرتو گاما** هم از خود گسیل کرد. ماهیت و خواص تابش گاما بسیار شبیه تابش ایکس (x) است. و

۱. نور در هر ثانیه مسافتی تقریباً برابر با سیصد هزار کیلومتر را می‌پیماید. یعنی نور در هر ثانیه می‌تواند بیش از هفت بار به دور کره زمین بچرخد! (مترجم).

همانطور که همه می‌دانیم، پرتو X در پزشکی کاربردهای گسترده‌ای دارد. تنها تفاوتشان این است که تابش گاما نسبت به تابش ایکس از اجسام کدرتر راحت‌تر می‌گذرد!

تاکنون سه نوع تابش هسته‌ای را معرفی کردیم؛ آلفا، بتا و گاما. بور– ۱۲ این هر سه نوع پرتو را گسیل می‌کند. اما اینطور نیست که هر رادیوایزوتوپی[1] همه‌ی این پرتوها را بتاباند، برخی از آنها فقط پرتوی آلفا و برخی دیگر فقط پرتوی بتا را می‌تابانند. هسته‌ی ایزوتوپ‌های پرتوزا اگرچه ناپایدارند، اینطور نیست که همگی همزمان و به طور آنی از هم وابپاشند. هسته‌های پرتوزا دیر یا زود واپاشی می‌کنند، و با گذشت زمان همگی نابود می‌شود!

1. Radioisotope

این واپاشی‌ها با چه سرعتی رخ می‌دهند؟ بور –۱۲ بسیار سریع وامی‌پاشد، در کمتر از دوصدم ثانیه نیمی از هسته‌های آن از هم وامی‌پاشند، و در دو صدم ثانیه‌ی بعدی، نیمی دیگر از **هسته‌های باقی‌مانده** از هم وامی‌پاشند، و همین طور الی آخر. و بنابراین، و با این سرعت واپاشی، قبل از اینکه متوجه چیزی شویم، در کمتر از کسری از ثانیه هیچی از اتم‌های بور– ۱۲ باقی نمی‌ماند!

اما عمر همه‌ی ایزوتوپ‌های پرتوزا اینقدر کوتاه نیست. برخی از آن‌ها قهرمان واقعی طول عمرند! به عنوان مثال، حدود ۱۴ میلیارد سال طول می‌کشد تا نیمی از هسته‌های فلز سنگین توریم–۲۳۲ از هم وابپاشند!

به مدت زمانی که طول می‌کشد تا نیمی از هسته‌های یک رادیوایزوتوپ از هم وابپاشند، **نیمه‌عمر** می‌گویند.

آهن، به عنوان مثال، شش رادیوایزوتوپ با نیمه‌عمرهای زیر دارد: پنج و نیم دقیقه، نه دقیقه، هشت ساعت، یک و نیم ماه، دو و نیم سال، و سه هزار سال. در حال حاضر بیش از ۱۰۰۰ نوع رادیوایزوتوپ می‌شناسیم که تنها تعداد اندکی از آن‌ها در طبیعت یافت می‌شود، و بیش‌تر آن‌ها در راکتورهای هسته‌ای و آزمایشگاه‌های فیزیک توسط انسان **تولید** شده‌اند.

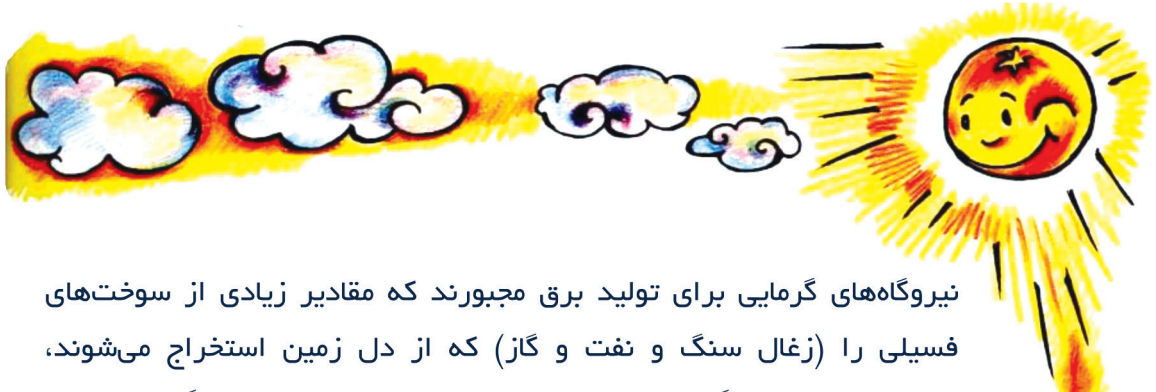
البته شاید بخواهید بدانید که دانش هسته‌ای به چه درد می‌خورد، و چرا دانشمندان در طبیعت به دنبال چنین موادی هستند و تلاش می‌کنند تا رادیوایزوتوپ‌های گوناگونی را تولید کنند. در اینجا فقط یک مثال می‌زنیم. قبلاً در مورد کربن، که هر کسی روزانه به نوعی و کم یا بیش با آن سر و کار دارد، سخن گفتیم. کربن یک رادیوایزوتوپ با نام کربن–۱۴ دارد (که از ترکیب دو نوترون با هسته‌ی یک کربن– ۱۲ معمولی، که شش تا پروتون و شش تا نوترون دارد به دست می‌آید). در هر گیاه، درخت، جاندار و انسانی مقداری کربن رادیواکتیو هست که به باستان‌شناسان در کارهای اکتشافی‌شان کمک می‌کند. مثلاً، هنگامی‌که باستان‌شناسان بقایای یک آتشگاه قدیمی و باستانی را پیدا می‌کنند، می‌توانند زغال‌های به جا مانده در آنها را بررسی کنند و ببینند چند درصد از کربن‌های رادیواکتیو موجود در آنها باقی‌مانده و چند درصد از آنها واپاشیده است. آنها از پاسخ این پرسش می‌توانند دقیقاً محاسبه کنند که آن آتشگاه در چه زمانی فروزان بوده است، و چند صد/هزار سال قبل، اجداد و نیاکان‌مان در کنار آن آتش می‌نشسته‌اند و خود را گرم می‌کرده‌اند. شاید بگویید «خیلی جالب است». و کاملاً حق با شماست.

سفرمان ادامه دارد

حال، با کشتی هسته‌ای‌مان از اقیانوس برمی‌گردیم، و باز در عالم خیال، سفرمان را بر روی رودخانه توگا به سمت بالا پیش می‌گیریم و در حالی‌که واقعیت‌های زیادی را درباره‌ی نحوه‌ی کارکرد راکتورها و موتورهای هسته‌ای آموخته‌ایم، راهمان را ادامه می‌دهیم.

سمت راست، دره‌ها و چمنزارهای سرسبز است و سمت چپ، سواحل تپه‌ای. اما این یکی دیگر چیست!؟ این توده‌ی ابر سیاه بزرگ که جلوی آفتاب را گرفته است.

دود غلیظ و سیاهی است که دارد از دودکش‌های یک نیروگاه حرارتی بیرون می‌آید و طبیعت را شدیداً آلوده می‌کند.



نیروگاه‌های گرمایی برای تولید برق مجبورند که مقادیر زیادی از سوخت‌های فسیلی را (زغال سنگ و نفت و گاز) که از دل زمین استخراج می‌شوند، بسوزانند. به این گونه از سوخت‌ها، **سوخت‌های پایان‌پذیر** می‌گویند. ذخایر بسیار بزرگی از آن‌ها در اعماق زمین وجود دارد. ولی چون بشر آنها را در مقادیر زیاد و با حجم بالایی دارد مصرف می‌کند در آینده‌ای نه چندان دور تمام خواهند شد. خوشبختانه برای تأمین انرژی راه‌های زیاد دیگری هم هست. خورشید، غنی‌ترین و در عین حال قوی‌ترین منبع انرژی پیرامون ما، به ما نور و گرما می‌دهد. انرژی خورشیدی پاک است و عملاً پایان‌ناپذیر، و از همه مهم‌تر، دوستدار طبیعت. یعنی استفاده از آن نه به طبیعت و نه به انسان‌ها زیانی نمی‌رساند.

با وجود این، هنوز دستگاه یا روش‌های مناسب و مقرون به صرفه‌ای برای ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی وجود ندارد. بنابراین، فقط هنگامی می‌توانیم از انرژی خورشیدی استفاده کنیم که خورشید می‌تابد، و مثلاً اگر بخواهیم شب شام بپزیم به کار نمی‌آید. چه کسی می‌داند، شاید شما، وقتی بزرگ شدید، بتوانید برای این کار روشی کارآمد ابداع کنید!

انرژی دیگری که طبیعت را آلوده نمی‌کند انرژی باد است. این نوع از انرژی را می‌توان با کمک پره‌های غول‌آسا به انرژی الکتریکی تبدیل کرد، اما در حال حاضر این نوع نیروگاه‌های بادی[1] (چرخ بادها) کم‌اند و در سواحل دریاها (که محل اصلی نصب آنهاست) زیاد دیده نمی‌شوند، چرا که زمان و نحوه کار آن‌ها نامنظم و توان تولیدی توسط آن‌ها ناپایدار است. علت این هم مشخص است: غیرقابل‌پیش‌بینی بودن زمان وزش باد مانع استفاده مؤثر از انرژی باد می‌شود.

سفری به یک نیروگاه هسته‌ای

بیایید با هم به یک نیروگاه هسته‌ای برویم. مانند هر کس دیگری که به بازدید یک نیروگاه هسته‌ای می‌رود، ما هم کلاه ایمنی بر سر می‌کنیم، و مسئولین مدارک‌مان را کاملاً بررسی، و ما

1. Windmill

را برای بازدید از نیروگاه راهنمایی می‌کنند. برای دیدن یک واحد فعال نیروگاهی پیش می‌رویم. مجموعه‌ای از ساختمان‌های غول‌پیکر، پمپ‌ها، استخرهای آب همراه با چندین مخزن بزرگ آب سرد، کپسول‌های حاوی گازهای مختلف با اندازه‌های شگفت انگیز، راهروهای دراز و خطوط لوله – واقعاً که نفس‌گیر است!

نظمی حیرت‌انگیز اولین چیزیست که توجه همه را به خود جلب می‌کند. همه چیز کاملاً تمیز و رنگ شده است. بین ساختمان‌ها، گیاهان و گل‌هایی زیبا کاشته شده‌اند. زمین آب‌پاشی شده است و چمن‌ها سبزاند. جاده‌های آسفالتی پاکیزه، و اطراف آن‌ها پر از گل‌های شکفته است. هوا پاک است و روی درختان پرندگان زیادی آشیانه کرده‌اند. پیاده‌روها همگی به دقت خط-کشی شده‌اند. یک خط‌آهن در امتداد و از سر تا سر مرز نیروگاه کشیده شده است، و روی آن می‌توان قطاری را دید که به آرامی چند واگن باری را به دنبال خود می‌کشد. و بار آن واگن‌ها سوخت هسته‌ای است! اما این قطار رفت‌وآمد زیادی ندارد چرا که هر بار آمدوشد آن برای سه سال کار راکتور کافی است و سوخت‌های مصرف شده، بعد از طی مدت زمان معینی در یک استخر خاص، توسط آن قطار برای بازفرآوری از محدوده نیروگاه خارج می‌شوند.

البته که فرایند تولید برق پیچیده است. عملیات گوناگون زیادی باید انجام شود و تجهیزات پیچیده زیادی هم باید پیوسته و بی‌عیب و نقص کار کنند.

واحد تولید برق خودش به تنهایی یک ساختمان غول پیکر است. واحد تولید برق اصلی‌ترین بخش یک نیروگاه هسته‌ای است. این واحد شامل یک راکتور هسته‌ای (یک «**دیگ بخار هسته‌ای**» که آب را گرم می‌کند)، یک توربین بخار و یک مولد برق است.

یک راکتور هسته‌ای همراه با همه‌ی تجهیزات کمکی آن، به خاطر مسایل ایمنی در درون یک پوشش گنبدی شکل بسیار مستحکم و قوی از جنس بتن قرار دارد. این ساختمان، و بنابراین کل نیروگاه در برابر زمین‌لرزه، طوفان‌های بسیار شدید، طوفان‌های گرد و خاک، و امواج شوکی حاصل از انفجارات مقاوم است. حتی اگر یک هواپیما بر روی این ساختمان سقوط کند به راکتور صدمه‌ای نمی‌رسد!

«**قلب**» هر نیروگاه هسته‌ای راکتور آن است، و تنها وظیفه راکتورهای هسته‌ای این است که به طور پیوسته و با توان بسیار بالایی گرما تولید کنند. راستی، آیا می‌توان آب را تا دمایی بالاتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس گرم کرد؟ بله. می‌توان، به شرطی که آن را تحت فشار قرار دهیم. در حقیقت دمای آبی که از راکتورهای هسته‌ای خارج می‌شود معمولاً در حدود ۳۲۰ درجه

سلسیوس است! این آب داغ وارد یک مبدل حرارتی[1] ویژه می‌شود و در آنجا جریان آب دیگری را، که در طرف دیگر آن مبدل جریان دارد گرم و تبخیر می‌کند. به این مبدل ویژه، **مولد بخار** می‌گویند. بخار تولید شده تحت فشار بالایی، و برای انجام کار، وارد یک توربین بخار می‌شود. توربین بخار در **جزیره‌ی توربین** قرار دارد.

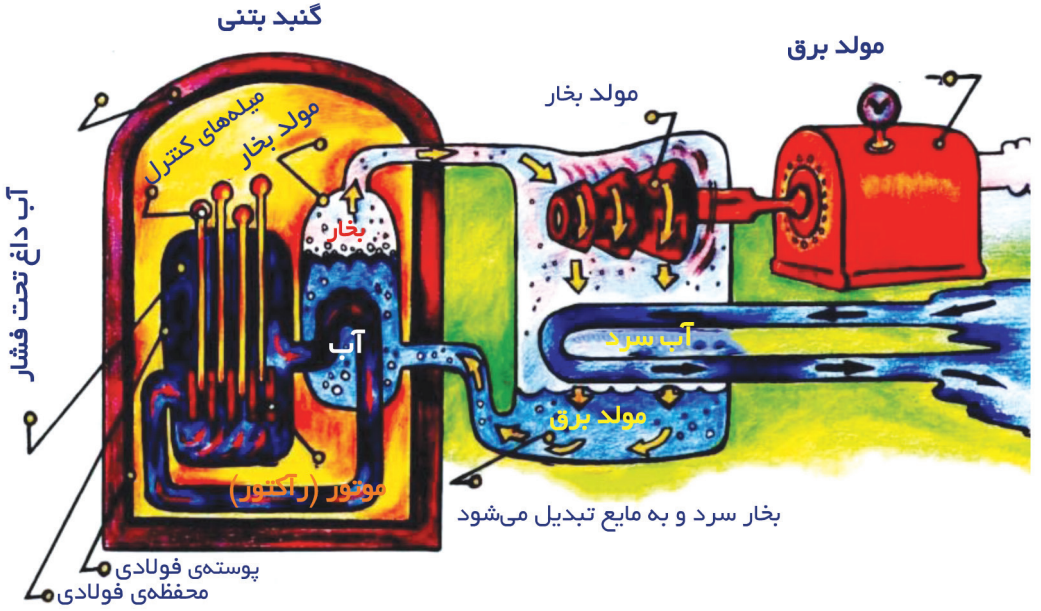
در اینجا، در جزیره توربین هستیم. از یک زمین فوتبال درازتر است! به توربین بزرگی نگاه می‌کنیم که جریانی از بخار داغ و پر فشار وارد آن می‌شود و پره‌های آن را با سرعت بسیار بالایی می‌چرخاند. توربین خیلی بزرگ است، به اندازه یک ساختمان دو طبقه. توربین با چرخاندن ژنراتور برق تولید می‌کند. آنچه می‌بینیم حیرت‌انگیز است. در نظر همه‌ی ما، حتی آنهایی که از هوانوردی چیز زیادی نمی‌دانند، بلند شدن و پرواز هواپیماها مهم و ارزشمند است. فرایند تولید «**برق هسته‌ای**» هم همین‌طور است، و حسابی همه‌ی توجه‌مان را به خود جلب کرده است.

و شگفت‌انگیزتر از همه این است که حتی یک نفر هم در آنجا ندیدیم. فرایندها همگی توسط کامپیوترهای مرکز کنترل به طور دقیق کنترل می‌شوند. و ما الان داریم به آنجا می‌رویم.

---

1. Heat Exchanger

رفتن به آنجا کار ساده‌ای نیست، قبل از رفتن به اتاق کنترل اصلی نخست باید از درهای محکم و محافظی، که نشت‌ناپذیرند عبور کنیم. اینجا مرکز کار کارگردانان راکتور است. آن‌ها کل فرایند تولید برق را می‌پایند و کنترل می‌کنند. اگر راکتور هسته‌ای قلب نیروگاه باشد، اتاق کنترل اصلی مغز آن است[1].



۱. راکتور به معده و روده شبیه‌تر است تا قلب، چرا که در آنجاست که سوخت تازه هسته‌ای «هضم» و «جذب» می‌شود. همچنین می‌توان پمپ‌های اصلی را به قلب راکتور، لوله‌کشی‌ها را به رگ‌ها، فیلترها را به کلیه‌ها، سنسورها و ابزار اندازه‌گیری را به حواس پنجگانه، سطوح بیرونی مخازن و عایق‌بندی آن‌ها را به پوست و لباس، سوخت‌های تازه را به غذای تازه، و سوخت‌های مصرفی و گازهای خروجی از دودکش‌ها و مایعات پسماند را به چیزهای زائد و دورریختنی و ... تشبیه کرد (مترجم).

برای جلوگیری از اختلال در کار آن‌ها، اجازه داریم که تنها چند دقیقه در آنجا بمانیم. بدون آنکه حواس‌شان را پرت کنیم و از آن‌ها بخواهیم که توضیح بیشتری بدهند شروع می‌کنیم به آرام و در گوشی با هم صحبت کردن.

آیا می‌دانید که در هر واحد نیروگاه هسته‌ای حدوداً چقدر برق تولید می‌شود؟ متوسط توان تولیدی هر نیروگاه معمولاً هزار مگاوات است[1]! این توان برای مصرف یک میلیون اتوی برقی کافیست!

چرا به نیروگاه‌های هسته‌ای نیاز داریم؟

حال، بگذارید یک نیروگاه هسته‌ای را با یک نیروگاه گرمایی معمولی مقایسه کنیم. یک نیروگاه گرمایی زغال‌سنگ‌سوز با ظرفیتی برابر با یک نیروگاه هسته‌ای (۱۰۰۰ مگاواتی) سالانه به پنج میلیون تن زغال‌سنگ نیاز دارد! تصورش سخت است، این یعنی هر پنج تا شش ساعت یک بار

۱. در جنوب کشور عزیزمان ایران، در شهر بوشهر یک نیروگاه هسته‌ای هزارمگاواتی داریم که به سهم خود در حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از آلودگی هوا مؤثر است. امیدواریم که در آینده راکتورهای هسته‌ای بیش‌تر و پیشرفته‌تری در کشورمان ساخته شود، و شما نیز، اگر دوست داشته باشید، به عنوان مهندس در یکی از آن‌ها کار کنید (مترجم).

یک قطار با ۵۰ واگن، و هر واگن حامل ۶۰ تن زغال سنگ، باید از یک در **پُر** وارد نیروگاه شود و از در دیگر **خالی** بیرون رود. فکرش را بکنید– اگر قطارهای حامل زغال‌سنگی که در طی یک سال وارد نیروگاه، و یا از آن خارج می‌شوند، پشت سر هم قرار دهیم طول مجموع آنها بیشتر از هزار کیلومتر خواهد شد! اما این تنها حمل و نقل سوخت نیست که اینقدر مشکل است. مشکل بدتر این است که بیشترِ این پنج میلیون تن زغال‌سنگ، بعد از مصرف، به صورت دود و انبوهی از خاکستر در زیر آسمان رها می‌شود که برای محیط‌زیست بسیار مضر است. سالانه صدها هزار تن غبار همراه با ترکیبات گوگردی و ازتی از طریق دودکش نیروگاه‌های زغال‌سنگ-سوز وارد هوای اتمسفر می‌شود که بعداً به صورت «باران‌های اسیدی» بر زمین فرو می‌بارند. ما نیز هنگامی که با آن کشتی خیالی از کنار آن نیروگاه گرمایی گذشتیم آن دود غلیظ سیاهی را که از دودکش‌های آن بیرون می‌زد دیدیم.

اما مشکل اصلی حتی این هم نیست. مهم نیست که یک نیروگاه گرمایی از چه نوع سوختی استفاده می‌کند– زغال سنگ، نفت و یا گاز– در هر صورت، مقادیر زیادی از دی‌اکسیدکربن از طریق دودکش آن‌ها وارد هوا می‌شود. دی‌اکسیدکربن از سوختن سوخت‌های فسیلی به وجود

می‌آید. دانشمندان دریافته‌اند که این گاز منجر به پدیده‌ای به نام «**اثرگلخانه‌ای**» می‌شود. این اثر، دمای سیاره ما را بالا می‌برد. بالا رفتن دما آب و هوا را تغییر می‌دهد و تعداد و شدت طوفان‌ها، سیل‌ها، خشکسالی‌ها و دیگر رخدادهای فاجعه‌آمیز طبیعی را بالا می‌برد. بالا رفتن دمای متوسط زمین به اندازه فقط ۲ تا ۳ درجه سلسیوس پوشش‌های یخی قطب جنوب را در ذوب می‌کند. اروپا و استرالیا، بخش‌هایی از آمریکا و جزیره‌های زیادی ممکن است که در آینده‌ای نه چندان دور از روی زمین محو شوند و به زیر دریاها فرو روند، و بخش‌های عمده‌ای از زیست‌بوم جهان کاملاً از بین برود!

برای پیشگیری، انسان باید هرچه زودتر به «منابع انرژی جایگزین» روی آورد. با این منابع دیگر نیازی نیست که منابع فسیلی، یعنی گاز یا زغال‌سنگ را بسوزانیم. منابع انرژی جایگزین شامل انرژی‌های هسته‌ای، خورشیدی، آبی (سدها)، بادی و ... که اثر گلخانه‌ای ندارند، است.

همین امر موجب رشد و توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در سرتاسر جهان شده است. نیروگاه‌های هسته‌ای جدیدی در آینده ساخته خواهند شد، و این هم برای محیط‌زیست و هم برای همه‌ی ساکنین زمین مفید خواهد بود. انرژی هسته‌ای پاک‌ترین و مطمئن‌ترین منبع انرژی است.

همراه با گسترش پروژه‌های جدید، و برای بالا بردن رفاه و آسایش مردم، صدها راکتور هسته‌ای در کشورهای پیشرفته جهان ساخته شده است. در بسیاری از کشورها نیروگاه‌های هسته‌ای جدیدی در حال ساخت هستند. با کشف منابع جدید، مردم به انرژی بیشتری دست پیدا می‌کنند. و این روند همچنان ادامه دارد، و در آینده در این زمینه قطعاً کشفیات جدیدی رخ خواهد داد که هیچ کس در حال حاضر هیچ تصویر یا ایده‌ای از آن‌ها ندارد. و اگر شما، دوست عزیز، تصمیم گرفته‌اید که زندگی خود را وقف حل مشکلات حیاتی بشر کنید، مثلاً تحقیق روی منابع جدید انرژی، فرصت زیادی دارید تا مهارت، دانش و خلاقیت خود را نشان دهید.

پایدار و سرافراز باشید

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

Nuclear Science and Technology Research Institute Press