

آب سنگین و کاربردها

آب سنگین، ساختار اتم، کاربردهای آب سنگین، کند کننده نوترون، آشکارسازی نوترینو، تولید تریتم، آب سنگین و کاربردها

آب خالص ماده‌ای است بی‌رنگ، بی‌بو و بدون طعم. فرمول شیمیایی آب H_2O است، یعنی هر مولکول آب از اتصال دو اتم هیدروژن به یک اتم اکسیژن ساخته شده است. نکته‌ای که باید در نظر داشت آن است که عنصر هیدروژن همانند بسیاری دیگر از عنصرهای طبیعت ایزوتوپ‌هایی دارد که عبارتند از H ۲ که با D دوتریم و H ۳ که با T تریتم نمایش می‌دهند. برای آشنا شدن با تفاوت این ایزوتوپ‌ها بهتر است یک بار دیگر ساختار اتم را به یادآوریم.

ساختار اتم

اتم کوچکترین بخش سازنده یک عنصر شیمیایی است که هنوز هم خواص شیمیایی آن عنصر را دارد. خود اتم‌ها از سه جزء ساخته شده‌اند: الکترون، پروتون و نوترون. پروتون و نوترون در درون هسته اتم قرار دارد و الکترون به دور هسته اتم می‌گردد. الکترون بار منفی و جرم بسیار کمی دارد. پروتون بار مثبت و نوترون بدون بار است. جرم پروتون و نوترون برابر و حدود ۱۸۷۰ بار سنگین‌تر از الکترون است، بنابر این بخش عمده جرم یک اتم درون هسته آن قرار دارد. ایزوتوپ: ایزوتوپ به صورت‌های گوناگون یک عنصر گفته می‌شود که جرم آنها با هم تفاوت داشته باشد. تفاوت ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر از آنجا ناشی می‌شود که تعداد نوترون‌های موجود در هسته آنها با هم تفاوت دارد.

البته تعداد پروتون‌های تمام اتم‌های یک عنصر از جمله ایزوتوپ‌ها با هم برابر است. برای مثال عنصر هیدروژن دارای سه ایزوتوپ است: H هیدروژن که در هسته خود فقط یک پروتون دارد، بدون نوترون. H ۲ یا D دوتریم که در هسته خود یک پروتون و یک نوترون دارد و H ۳ یا T تریتم که یک پروتون و دو نوترون دارد. از آنجایی که خواص شیمیایی یک عنصر به تعداد پروتون‌های هسته مربوط است، ایزوتوپ‌های مختلف در خواص شیمیایی با هم تفاوت ندارند، بلکه خواص فیزیکی آنها با هم متفاوت است. عمده هیدروژن‌های طبیعت H یا هیدروژن معمولی است و فقط ۰.۱۵۰ درصد آن را دوتریم تشکیل می‌دهد، یعنی از هر ۶۴۰۰ اتم هیدروژن، یکی دوتریم است. حال در نظر بگیرید که به جای یک اتم هیدروژن معمولی در مولکول آب H_2O اتم D بنشیند. آن وقت مولکول HDO به وجود می‌آید که به آن آب نیمه سنگین می‌گویند. اگر جای هر دو اتم هیدروژن، دوتریم بنشیند، D_2O به وجود می‌آید که به آن آب سنگین می‌گویند. خواص فیزیکی آب سنگین تا حدودی با آب سبک یا آب معمولی تفاوت دارد. با توجه به جانشینی D به جای H در آب سنگین، انرژی پیوندی پیوندهای اکسیژن هیدروژن در آب تغییر می‌کند و در نتیجه خواص فیزیکی و به ویژه خواص زیست‌شناختی آب عوض می‌شود.

تاریخچه تولید آب سنگین

والتر راسل در سال ۱۹۲۶ با استفاده از جدول تناوبی «مارپیچ» وجود دو تریتم را پیش بینی کرد. هارولد یوری یکی از شیمیدانان دانشگاه کلمبیا در سال ۱۹۳۱ توانست آن را کشف کند. گیلبرت نیوتن لوئیس هم در سال ۱۹۳۳ توانست اولین نمونه از آب سنگین خالص را با استفاده از روش الکترولیز تهیه کند. هوسی و هافر نیز در سال ۱۹۳۴ از آب سنگین استفاده کردند و با انجام اولین آزمون‌های ردیابی زیست‌شناختی به بررسی سرعت گردش آب در بدن انسان پرداختند.

تولید آب سنگین: در طبیعت از هر ۳۲۰۰ مولکول آب یکی آب نیمه سنگین HDO است. آب نیمه سنگین را می‌توان با استفاده از روش‌هایی مانند تقطیر یا الکترولیز یا دیگر فرآیندهای شیمیایی از آب معمولی تهیه کرد. هنگامی که مقدار HDO در آب زیاد شد، میزان آب سنگین نیز بیشتر می‌شود زیرا مولکول‌های آب هیدروژن‌های خود را با یکدیگر عوض می‌کنند و احتمال دارد که از دو مولکول HDO یک مولکول H_2O معمولی و یک مولکول D_2O آب سنگین به وجود آید. برای تولید آب سنگین خالص با استفاده از روش‌های تقطیر یا الکترولیز به دستگاه‌های پیچیده تقطیر و الکترولیز و همچنین مقدار زیادی انرژی نیاز است، به همین دلیل بیشتر از روش‌های شیمیایی برای تهیه آب سنگین استفاده می‌کنند.

کاربردهای آب سنگین

آب سنگین در پژوهش‌های علمی در حوزه‌های مختلف از جمله زیست‌شناسی، پزشکی، فیزیک و... کاربردهای فراوانی دارد که در زیر به چند مورد آن اشاره می‌کنیم

طیف سنجی تشدید مغناطیسی هسته: در طیف سنجی تشدید مغناطیسی هسته NMR هنگامی که هسته مورد نظر ما هیدروژن و حلال هم آب باشد از آب سنگین استفاده می‌کنند. در این حالت چون سیگنال‌های اتم هیدروژن مورد نظر با سیگنال‌های اتم هیدروژن آب معمولی تداخل می‌کند، می‌توان از آب سنگین استفاده کرد، زیرا خواص مغناطیسی دوتریم و هیدروژن با هم تفاوت دارد و سیگنال دوتریم با سیگنال‌های هیدروژن تداخل نمی‌کند.

کند کننده نوترون

آب سنگین در بعضی از انواع رآکتورهای هسته‌ای نیز به عنوان کند کننده نوترون به کار می‌رود. نوترون‌های کند می‌توانند با اورانیوم واکنش

بدهند. از آب سبک یا آب معمولی هم می‌توان به عنوان کند کننده استفاده کرد، اما از آنجایی که آب سبک نوترون‌های حرارتی را هم جذب می‌کنند، رآکتورهای آب سبک باید اورانیوم غنی شده اورانیوم با خلوص زیاد استفاده کنند، اما رآکتور آب سنگین می‌تواند از اورانیوم معمولی یا غنی نشده هم استفاده کند، به همین دلیل تولید آب سنگین به بحث‌های مربوط به جلوگیری از توسعه سلاح‌های هسته‌ای مربوط است. رآکتورهای تولید آب سنگین را می‌توان به گونه‌ای ساخت که بدون نیاز به تجهیزات غنی سازی، اورانیوم را به پلوتونیوم قابل استفاده در بمب اتمی تبدیل کند. البته برای استفاده از اورانیوم معمولی در بمب اتمی می‌توان از روش‌های دیگری هم استفاده کرد. کشورهای هند، اسرائیل، پاکستان، کره شمالی، روسیه و آمریکا از رآکتورهای تولید آب سنگین برای تولید بمب اتمی استفاده کردند. با توجه به امکان استفاده از آب سنگین در ساخت سلاح هسته‌ای، در بسیاری از کشورها دولت تولید یا خرید و فروش مقدار زیاد این ماده را کنترل می‌کند. اما در کشورهایی مثل آمریکا و کانادا می‌توان مقدار غیر صنعتی یعنی در حد گرم و کیلوگرم را بدون هیچ گونه مجوز خاصی از تولید کنندگان یا عرضه کنندگان مواد شیمیایی تهیه کرد. هم اکنون قیمت هر کیلوگرم آب سنگین با خلوص ۹۸۹۹ درصد حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ دلار است. گفتنی است بدون استفاده از اورانیوم غنی شده و آب سنگین هم می‌توان رآکتور تولید پلوتونیوم ساخت. کافی است که از کربن فوق العاده خالص به عنوان کند کننده استفاده شود از آنجایی که نازی‌ها از کربن ناخالص استفاده می‌کردند، متوجه این نکته نشدند در حقیقت از اولین رآکتور اتمی آزمایشی آمریکا سال ۱۹۴۲ و پروژه منهتن که پلوتونیوم آزمایش ترینیتمی و بمب مشهور «man Fat» را ساخت، از اورانیوم غنی شده یا آب سنگین استفاده نمی‌شد.

آشکارسازی نوترینو

رصد خانه نوترینوی سادبری در انتاریوی کانادا از هزار تن آب سنگین استفاده می‌کند. آشکار ساز نوترینو در اعماق زمین و در دل یک معدن قدیمی کار گذاشته شده تا مئون‌های پرتوهای کیهانی به آن نرسد. هدف اصلی این رصدخانه یافتن پاسخ این پرسش است که آیا نوترینوهای الکترون که از همجوشی در خورشید تولید می‌شوند، در مسیر رسیدن به زمین به دیگر انواع نوترینوها تبدیل می‌شوند یا خیر. وجود آب سنگین در این آزمایش‌ها ضروری است، زیرا دوتریم مورد نیاز برای آشکارسازی انواع نوترینوها را فراهم می‌کند.

آزمون‌های سوخت و ساز در بدن

از مخلوط آب سنگین با $H_2^{18}O$ آبی که اکسیژن آن ایزوتوپ ^{18}O است نه ^{16}O برای انجام آزمایش اندازه گیری سرعت سوخت و ساز بدن انسان و حیوانات استفاده می‌شود. این آزمون سوخت و ساز را معمولاً آزمون آب دوبار نشان دار شده می‌نامند.

تولید تریتیم

هنگامی که دوتریم رآکتور آب سنگین یک نوترون به دست می‌آورد به تریتیم ایزوتوپ دیگر هیدروژن تبدیل می‌شود. تولید تریتیم به این روش به فناوری چندان پیچیده‌ای نیاز ندارد و آسان تر از تولید تریتیم به روش تبدیل نوترونی لیتیم ۶ است. تریتیم در ساخت نیروگاه‌های گرما هسته‌ای کاربرد دارد.