چگونه در خانه خودتان PET Scanner بسازید:

فهم روش کار دستگاه PET scanner به کمک اتاقک ابر دست سازخانگی

مقدمه:

پادمـاده موجـودى اسـت کـه جرمـى دقیقـابرابر جرم همتای مـاده ى خـود، اما بـار فیزیکـى (هماننـد بـار الکتریکـى) مخالف بـار فیزیکـى آن دارد. ایـده وجـود پـاد مـاده بـه صـورت نویـن اولیــن بــار در ســال 1928 توســط دیــراك مطــرح شــد. او وقتــى میخواســت نســخه ى نســبیتى معادلــه شــرودینگر را بــراى الکتــرون حــل کنــد، وجــود آنتى الکتــرون (پوزیتــرون) را پیشـنهاد کـرد. سـپس کارل اندرسـون هنگامـى کـه درحـال مطالعـه ى اثـر ذرات در اتاقـک ابـر بـود، متوجـه وجـود ذراتـى ً شــبیه رد الکتــرون امــا مســیرى شــبیه شــد کــه ردى دقیقــا آیینــه ى مســیر ذرات الکتــرون دارنــد شــد. ایــن ذره اولیــن پادمـاده اى بـود کـه بشـر مشـاهده کـرد

اتاقک ابر چیست؟

اتاقک ابر محفظه‌ای است برای آشکارسازی ذرات یونیزه شده و باردار در آن محیط.  
این دستگاه خود ذرات را به تنهایی آشکار نمیکند بلکه نشان‌گر مسیری که این ذرات از آن گذشته‌اند هستند.  
درواقع ذرات یک دنباله ای متراکم از خود به جای می گذارند که به‌صورت مه قابل مشاهده است و نمایان گر مسیر حرکت آن ذره است. ذراتی که در این اتاقک مورد بررسی قرار می‌گیرند معمولا عناصر رادیواکتیو مثل تابش‌های آلفا بتا هستند. علاوه بر آن‌ها اشعه‌های کیهانی(cosmic rays) نیز از این طریق آشکار می‌شوند. (به عنوان سؤال چالشی به این فکر بکنید که در کوانتوم مکانیک دیدیم که ذرات کوانتومی مسیر حرکت معین ندارند. پس این باریکه ای که میبینیم مربوط به چیست؟)

اتاقک ابر چگونه کار میکند؟

محیط اتاقک حاوی بخار فوق اشباع از آب یا الکل است. وقتی یک ذره پرانرژی با ترکیب گازی برهم‌کنش می‌کند طی برخوردهایش با اتم‌های گاز تبادل الکترون انجام می‌دهد و باعث باردار شدن گاز می‌شود و دنباله‌ای از مولکول‌های یونیزه شده همراه خود تشکیل می‌دهد.اگر ترکیب گازی در نقطه چگالش خود باشد یک باریکه مه‌مانندی به دنبال ذره برای چند ثانیه مشاهده می‌شود که نمایان‌گر مسیر حرکتش هم خواهد‌بود.

این دنباله‌ها شکل‌های متفاوتی دارند و از همین طریق هم ذرات شناسایی می‌شوند. به‌عنوان‌مثال دنباله ذره آلفا ضخیم و مستقیم است در‌حالی‌که برای یک الکترون حلقه‌مانند است و انحراف حاصل از برخوردها را واضح‌تر نشان می‌دهد.  
اولین اتاقک ابر ساخته‌شده حاوی بخار آب بود و محفظه آن هم قابلیت افزایش حجم را داشت.بنابر‌این با بزرگ‌تر کردن حجم اتاقک دمای گاز افت می‌کند و این پدیده بخار آب را به چگال تر شدن سوق می‌دهد و این غلیظ‌تر شدن باعث به جاماندن ردی از ذرات می‌شود.

در اتاقک‌های جدید‌تر که به نام اتاقک دیفیوژن(diffusion chamber) شناخته می‌شوند از بخار الکل استفاده می‌کنند و حجم محفظه هم قابل تغییر نیست بلکه به جای آن برای پایین آوردن دمای گاز داخل از یخ خشک استفاده می‌کنند.

اتاقک ابر نقش مهمی در فیزیک ذرات تجربی از سال ۱۹۲۰ تا ۱۹۵۰ ایفا کرده است. کشف ذرات پوزیترون

(۱۹۳۲)و میون(۱۹۳۶) و کائون(۱۹۴۷) همگی با استفاده از همین دستگاه بوده‌اند.

PET scanner:

PET مخفف کلمه Positron Emission Tomography هست. پس همانطور که از اسمش پیداست نوعی تصویر برداری است که در آن از پادماده پوزیترون استفاده می‌شود. در شکل زیر میتوانید تصویری از این اسکنر را ببینید:

«تصویر پت»

لازم به ذکر است که عکس برداری PET از جمله عکس برداری های عمل‌کردی یا functional هست. به این معنی که اگر شما به کمک این وسیله از مغز تصویر برداری بکنیدخروجی ای که خواهید گرفت، عمل‌کرد مغز در نقاط مختلف مغز هست.

برای مثال تصویرشماره [3] را مشاهده کنید. همانطور که در این تصویر میبینید، ساختار مغز خیلی مشخص نیست (به صورت مات غیر واضح است). دلیلش آن است که این تصویر یک تصویر برداری عمل‌کردی است. به این معنی که عمل‌کرد بخش‌های مختلف مغز را به تصویر میکشد. بخشی از مغز که دارای متابولیسم بیشتری است به صورت روشن‌تر و بخشی که دارای متابولیسم کمتری است به صورت خاموش تر نمایانده میشود.

از این نوع تصویر برداری میتوان برای منظور های مختلفی استفاده کرد. یکی از کاربردهایش این است که به کمک این تصویر برداری میتوان فهمید بخش‌های مختلف مغز مسئول چه کار هایی هستند. برای مثال شکل [4] را در نظر بگیرید:

البته برای تعیین محل دقیق سیگنال های PET میتوان از ترکیب آن با یکی از تصویر برداری های ساختاری بهره برد. به طور مثال MRI یا magnetic resonance imaging تکنیکی است که به کمک آن میتوانید ساختار دقیق مغز را مطالعه کنید و سپس با قرار دادن تصویر پت روی MRI به مکان دقیق فعالیت مغزی پی ببرید.

یکی دیگر از کاربرد های PET مربوط به پیدا کردن تومور های پنهان هست. وقتی صحبت از تومور میشو، همه ما تصور میکنیم که یک غده عجیبی در مغز است که اسمش تومور میباشد. بله این تصور برای بسیاری از غدد مغزی درست است، اما تعدادی از غدد مغزی هستند که هیچ نشانه ساختاری در مغز برجا نمیگذارند. بلکه متابولیسم آن ناحیه از مغز را تحت تأثیر قرار میدهند. بنابراین تشخیص دادن این تومور ها با عکس برداری های ساختاری همچون MRI ممکن نیست اینجا هست که تصویر برداری پت مؤثر واقع میشود. برای مثال عکس شماره [5] را ببینید.

همانطور که مشاهده می‌شود در تصویر a هیچ نشانی از تومور مغزی به صورت واضح دیده نمیشود. اما اگر تصاویر b,c را مشاهده کنید به متوانید به سادگی متوجه شوید که یک متابولیستم عجیبی در یک ناحیه از مغز همیشه ثابت است.

این مشاهده میتواند به ما کمک کند که به وجود تومور پی ببریم و با ترکیب عکس PET با MRI میتوانیم به محل دقیق تومور پی برده و به کمک عمل‌های جراحی تومور را از محل خارج کنیم.

نحوه کار تصویر برداری پت:

اساس کار تصویر برداری پت روی برهمکنش ماده با پادماده است. در این نوع تصویر برداری از موادی به نام radiotracer استفاده میکنند. این تریسر ها در بدن تزیق می‌شوند تا در جریان خون راه پیدا کرده و در بدن پخش شوند. این مواد که مواد ناپایداری هستند، در طول زمان واپاشی انجام داده و از خود پوزیترون (پاد ماده الکترون)‌ آزاد میکنند. این پوزیترون های آزاد شده در مسیر خود به اتم های بدن برخورد کرده و پرتو گاما ساطع میکنند. این پرتو گاما به کمک آرایه دیتکتور های حلقوی که دور مریض را فراگرفته اند آشکار سازی می‌شوند و بعد از پردازش هایی به تصویر مطلوب میرسند.

به شکل‌های [6], [7] مراجعه کنید.

نکته‌ای که درباره radiotracer ها وجود دارد این است که میتوان برای منظور های مختلف از تریسر های مختلف استفاده کرد. برای مثال تریسر [18F-FDG](https://en.wikipedia.org/wiki/18F-FDG)  برای تشخیص های مربوط به سرطان، تریسر [NaF-F18](https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_fluoride" \l "Medical_imaging) برای رویش استخوان، و [oxygen-15](https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_oxygen" \l "Oxygen-15)  برای مشاهده و مطالعه جریان خون کاربرد دارد.

مطالبی که در این بخش بیان شد، توضیح بسیار ساده و مختصر و شهودی از طرز کار تکنیک PET بود. برای مطالعه بیشتر توصیه می‌شود به کتاب Nuclear Medicine Physics: The Basics نوشته Arman Rahmim مراجعه کنید. در فصل ۱۵ این کتاب به صورت کامل درباره PET بحث شده است. همچنین مطالب دیگری درباره تصویر برداری های مختلف گفته شده است که مطالعه آن‌ها خالی از لطف نیست.

ساخت ستاپ آزمایش:

در این بخش قصد داریم دیتکتوری بسازیم که میتواند الکترون، پوزیترون، و گاما را آشکار سازی کند. به کمک این ستاپ هم میتوان به نحوه کار PET, فیزیک پشت سر آن بهتر پی برد و هم میتوان پرتوهای کیهانی را مشاهده کرده و لذت برد. در تصویر زیر میتوانید یک نمای ساده شده از اتاقک ابر مشاهده کنید [تصویر شماره 8]

همانطور که میبینید، در قسمت زیرین اتاقک ابری قستی قرار گرفته است که الکل را بسیار خنک میکند و به اندازه کافی خنک است که بتواند یک گرادیان دمایی در فضای نزدیک سطح خودش به وجود بیاورد و بخار فوق اشباع در این ناحیه به وجود بیاید. برای قست سرد کن میتوان از یخ خشک استفاده کرد. اما از آنجایی که تهیه آن سخت است، ما در این مطلب یک روش سرد کننده دائمی پیشنهاد میکنیم.

قطعه‌ای که در شکل شماره 9 مشاهده میکنید یک المان سرد کننده هست. به صورتی که اگر به آن ولتاژ ۱۲ ولت اعمال کنید یک طرف آن از طرف دیگر آن ۶۰ درجه خنک‌تر میشود. توجه کنید که در هنگام استفاده از این وسیله حتماً باید قسمتی که گرم می‌شود را به هیت سینک وصل کنید در غیر این صورت قطعه خواهد سوخت. همچنین بهتر است که هیت سینک را در معرض باد یک فن قرار دهید که دفع گرما از آن به خوبی اتفاق بیفتد (تصویر شماره 10). توجه کنید که هرچقدر سمت گرم را خنک‌تر کنید، سمت سرد، حدود ۶۰ درجه از سطح گرم سرد تر خواهد بود. از برد توسعه ای که برای کنترل اتاقک ابر در نظر گرفته شده است (بخش بعدی را ببینید) میتوانید این قطعه را درایو کنید.

در مرحله بعدی لازم است که یک قطعه مسی روی قسمت سرد شونده المان بچسبانید. به شکل زیر توجه کنید:

در شکل بالا قطعه سفید رنگ همان المان سرد کننده است که رویش صفحه مسی قرار گرفته است. سپس لازم است در قسمت سقف ستاپ یک اسفنجی بچسبانید که آغشته به الکل است. یعنی مثل تصویر زیر:

حال یک پوشش پلاستیکی مشکی رنگ روی صفحه مسی قرار دهید که مشاهده پرتوها توسط دیتکتور راحتر شود:

حال یک محفظه شیشه‌ای شفاف لازم داریم که روی سیستم قرار بگیرد و از خارج شدن الکل از سیستم جلوگیری کند. تصویر نهایی به این شکل خواهد بود:

حال کافی است المان سرد کننده را به ولتاژ ۱۲ ولت وصل کنید و کمی صبر کنید. بعد از مدتی اثر هایی شبیه شکل زیر مشاهده خواهید کرد[شکل 15]. فراموش نکنید که برای مشاهده راحتتر لازم است روی صفحه مشکی نور بتابانید.

ارتباط با PET scan:

اگر خوش شانس باشید بعد از مدتی شکلی مثل شکل زیر میتوانید مشاهده کنید [شکل ۱۰] (البته توجه کنید برای اینکه بتواند شکل بالا را مشاهده کنید باید از کویل مغناطیسی هم استفاده کنید به صورتی که روی صفحه مشکلی رنگ در سیستم میدان مغناطیسی یکنواخت وجود داشته باشد)

همانطور که مشاهده میکنید در یک نقطه از تصویر پرتوی گامایی تبدیل به یک زوج الکترون-پوزیترون شده است. این دقیقاً عکس مکانیزم تصویر برداری PET است. در تصویر برداری PET یک پوزیترون سر راه خود به یکی از اتم های بدن برخورد میکند و دو پرتو گاما آزاد میکند که توسط دیتکتور ها آشکار سازی میشود.

تصویر زیر [تصویر 16 ] گویای مطالب گفته شده است:

برد توسعه اتاقک ابر (development board)

به کمک این برد توسعه میتوانید عنصر خنک کننده، فن عنصر خنک کننده، کویل میدان مغناطیسی، LED های نور دهنده به سیستم را به کمک دکمه های فشاری که در پایین برد قرار دارند کنترل کنید. برای اینکه متوجه شوید در این برد توسعه المان ها به چه صورتی به همدیگر وصل شده اند، به شماتیک آورده شده در شکل زیر مراجعه کنید:

راهنمای استفاده از برد توسعه:

همه سورس کد و همچنین نقشه کامل شماتیک سیستم در صفحه گیت هاب <https://github.com/alifele/OpenSource-Cloud-chamber> قرارخواهد گرفت. همچنین دستورالمعل های لازم جهت برنامه‌ریزی micro controller را نیز میتوانید در این صفحه پیدا کنید. اما اگر خودتان میخواهید این سیستم را راه اندازی کنید و firmware خودتان رو بنویسید، برای راهنمایی لازم است توجه کنید که برای راه اندازی خروجی های مدار (فن و LED و ...)‌لازم است از برنامه‌ریزی تایمر و تولید موج PWM کمک بگیرید.

در نهایت، پس از سفارش دادن PCB , مونتاژ کردن قطعات روی برد، برد کنترلی شما همچین نمایی خواهد داشت.

از این به بعد میتوانید ذرات کیهانی را ببینید و لذت ببرید.

منابع عکس‌ها:

[1] <http://www.ep.ph.bham.ac.uk/twiki/bin/view/General/CloudChamber>

[2] <https://www.radiation-dosimetry.org/what-is-diffusion-cloud-chamber-and-expansion-cloud-chamber-definition/>

[3] [10.1016/j.neurobiolaging.2016.10.008](https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.neurobiolaging.2016.10.008)

[4] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198349.g006>

[5] [10.1007/s00381-007-0307-8](https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1007%2Fs00381-007-0307-8)

[6],[7] [10.1007/s00381-007-0307-8](https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1007%2Fs00381-007-0307-8)

[8] <https://www.nuledo.com/en/cloud-chambers/>

[15] <https://www.pinterest.com/pin/231020655862775860/>

[16] <https://fiveable.me/ap-physics-em/unit-4/magnetic-fields-overview/study-guide/6ngHLevzbMbhJjjHrUx6>

[17] Nuclear Medicine Physics: The Basics book by Arman Rahmim