

چگونه در خانه خودتان PET Scanner بسازید:
فهم روش کار دستگاه PET scanner به کمک اتاقک ابر دست سازخانگی

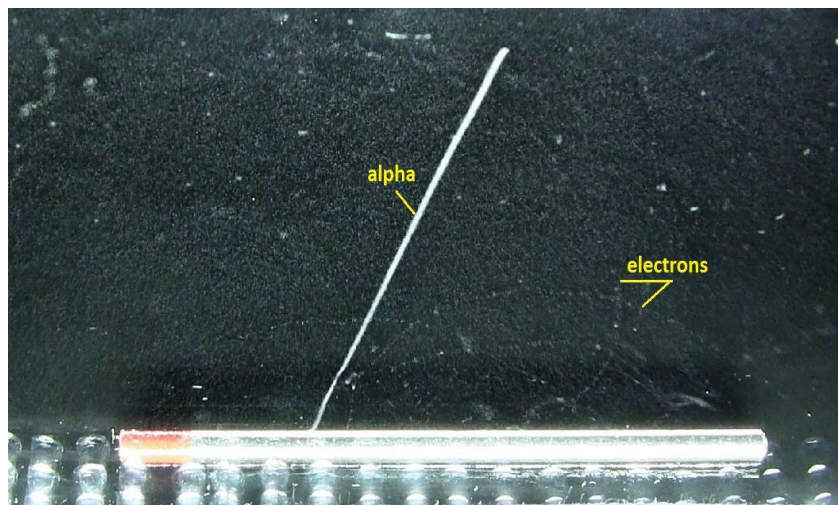
مقدمه:

پادماده موجودی است که جرمی دقیقاً برابر جرم همتای ماده ی خود، اما بار فیزیکی (همانند بار الکتریکی) مخالف بار فیزیکی آن دارد. ایده وجود پاد ماده به صورت نوین اولین بار در سال 1928 توسط دیراک مطرح شد. او وقتی میخواست نسخه ی نسبیته معادله شرودینگر را برای الکترون حل کند، وجود آنتی الکترون (پوزیترون) را پیشنهاد کرد. سپس کارل اندرسون هنگامی که در حال مطالعه ی اثر ذرات در اتاقک ابر بود، متوجه وجود ذراتی شبیه رد الکترون اما مسیری شبیه شد که ردی دقیقاً آینه ی مسیر ذرات الکترون دارند شد. این ذره اولین پادماده ای بود که بشر مشاهده کرد

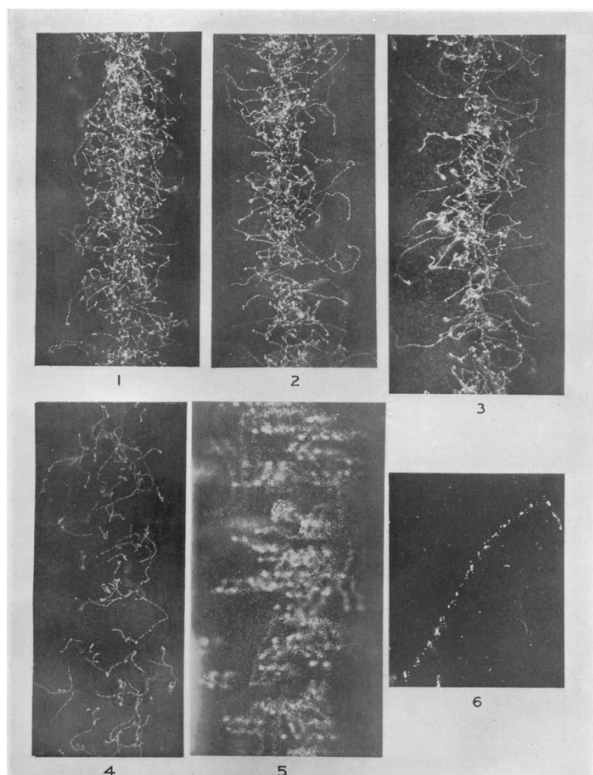
اتاقک ابر چیست؟

اتاقک ابر محفظه ای 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 گذشته اند هستند.

درواقع ذرات یک دنباله ای متراکم از خود به جای می گذارند که به صورت مه قابل مشاهده است و نمایان گر مسیر حرکت آن ذره است. ذراتی که در این اتاقک مورد بررسی قرار می گیرند معمولاً عناصر رادیواکتیو مثل تابش های آلفا بتا هستند. علاوه بر آن ها اشعه های کیهانی (cosmic rays) نیز از این طریق آشکار می شوند. (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؟)



تصویر شماره 1



تصویر شماره 2

اتاقک ابر چگونه کار میکند؟

محیط اتاقک حاوی بخار فوق اشباع از آب یا الکل است. وقتی یک ذره پرانرژی با ترکیب گازی برهم کنش می کند طی برخوردهایش با اتم های گاز تبادل الکترون انجام می دهد و باعث باردار شدن گاز می شود و دنباله ای از مولکول های یونیزه شده همراه خود تشکیل می دهد. اگر ترکیب گازی در نقطه چگالش خود باشد یک باریکه مه مانندی به دنبال ذره برای چند ثانیه مشاهده می شود که نمایانگر مسیر حرکتش هم خواهد بود. این دنباله ها شکل های متفاوتی دارند و از همین طریق هم ذرات شناسایی می شوند. به عنوان مثال دنباله ذره آلفا ضخیم و مستقیم است در حالی که برای یک الکترون حلقه مانند است و انحراف حاصل از برخوردها را واضح تر نشان می دهد. اولین اتاقک ابر ساخته شده حاوی بخار آب بود و محفظه آن هم قابلیت افزایش حجم را داشت. بنابراین با بزرگتر کردن حجم اتاقک دمای گاز افت می کند و این پدیده بخار آب را به چگال تر شدن سوق می دهد و این غلیظ تر شدن باعث به جاماندن ردی از ذرات می شود. در اتاقک های جدیدتر که به نام اتاقک دیفیوژن (diffusion chamber) شناخته می شوند از بخار الکل استفاده می کنند و حجم محفظه هم قابل تغییر نیست بلکه به جای آن برای پایین آوردن دمای گاز داخل از یخ خشک استفاده می کنند. 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 بوده اند.

PET scanner:

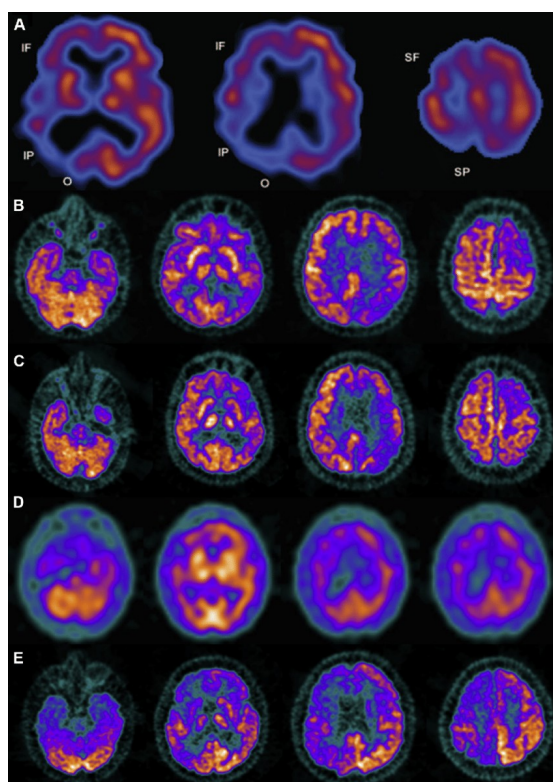
PET مخفف کلمه Positron Emission Tomography هست. پس همانطور که از اسمش پیداست نوعی تصویر برداری است که در آن از پادماده پوزیترون استفاده می‌شود. در شکل زیر میتوانید تصویری از این اسکنر را ببینید:

«تصویر پت»

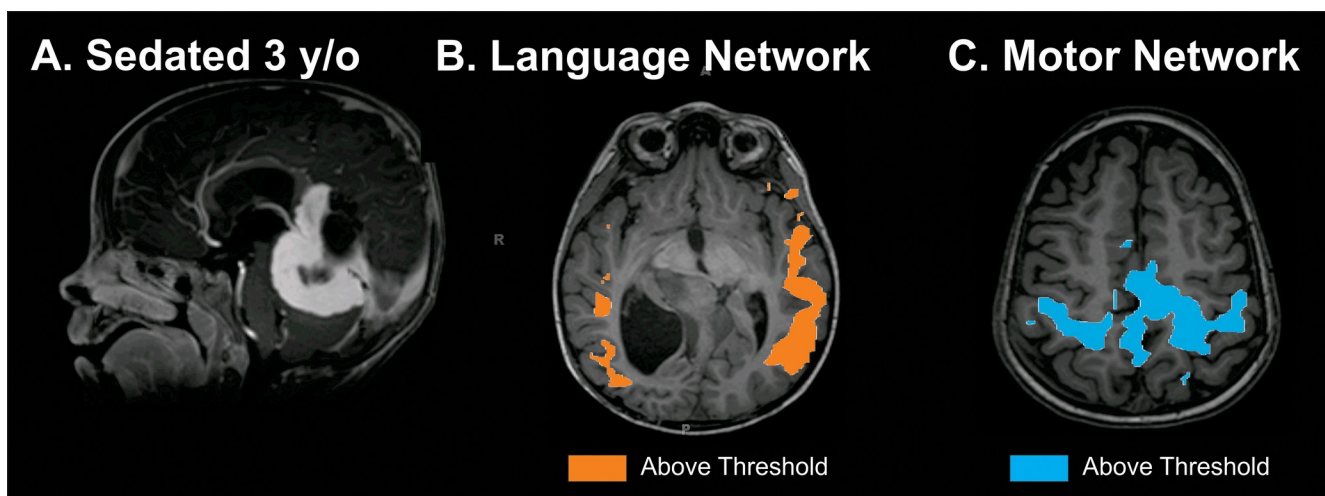
لازم به ذکر است که عکس برداری PET از جمله عکس برداری های عمل‌کردی یا functional هست. به این معنی که اگر شما به کمک این وسیله از مغز تصویر برداری بکنید خروجی ای که خواهید گرفت، عمل‌کرد مغز در نقاط مختلف مغز هست.

برای مثال تصویر شماره [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 خاموش‌تر 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:



تصویر شماره 3



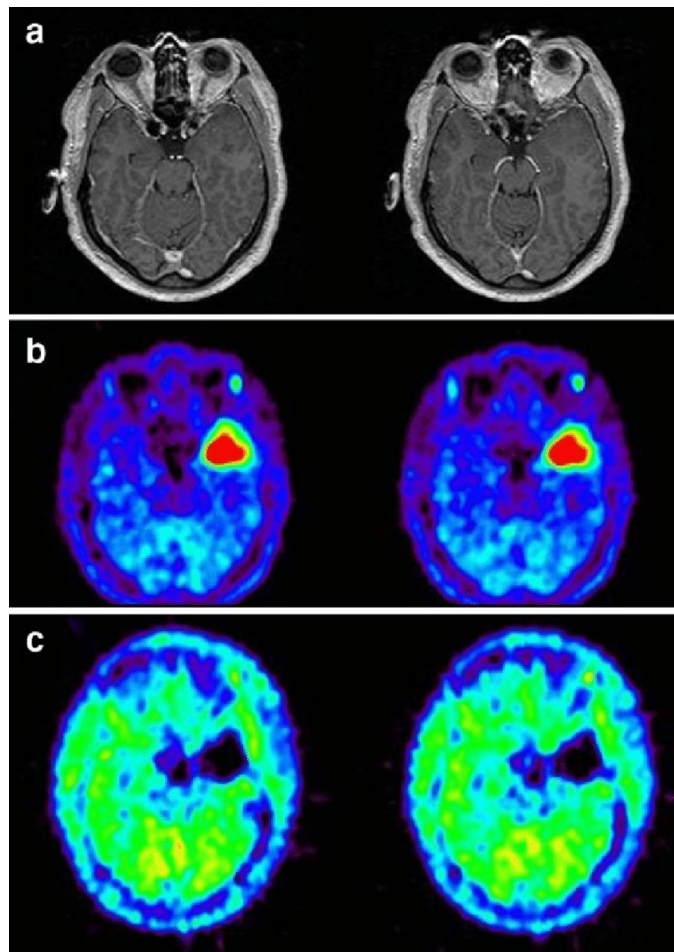
تصویر شماره 4

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 می شود در تصویر a هیچ نشانی از تومور مغزی به صورت واضح دیده نمیشود. اما اگر تصاویر b,c را مشاهده کنید به سادگی متوجه شوید که یک متابولیسم 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 عمل های جراحی تومور را از محل خارج کنیم.

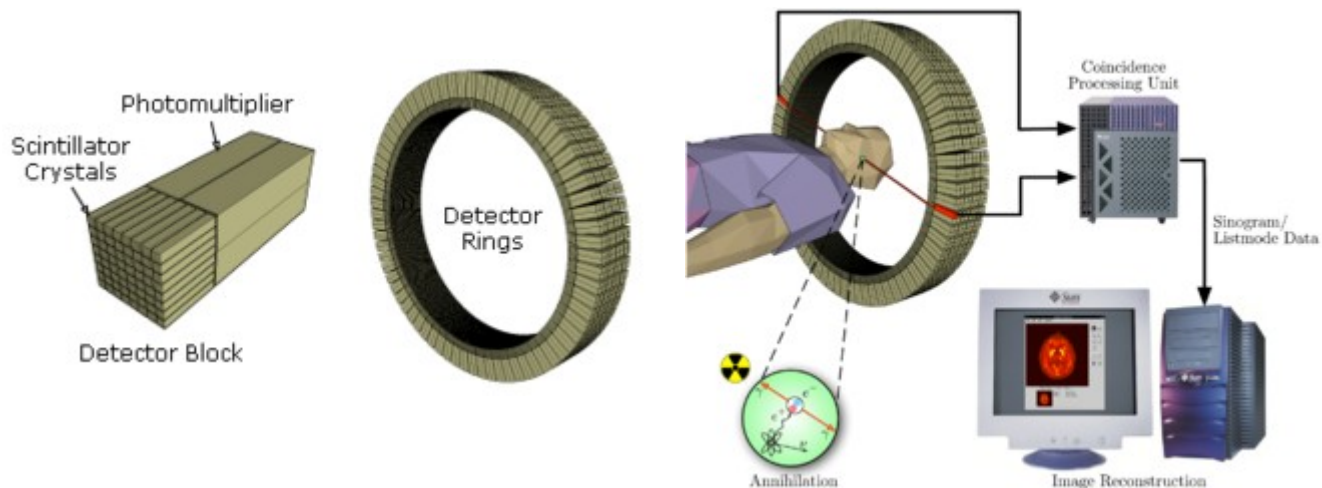


تصویر شماره 5

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 تزریق 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 (پادماده 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 شکل های [6]، [7] مراجعه کنید.

نکته ای 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](#) برای تشخیص های مربوط به سرطان، تریسر [NaF-F18](#) برای رویش استخوان، و [oxygen-15](#) برای مشاهده و مطالعه جریان خون کاربرد دارد.



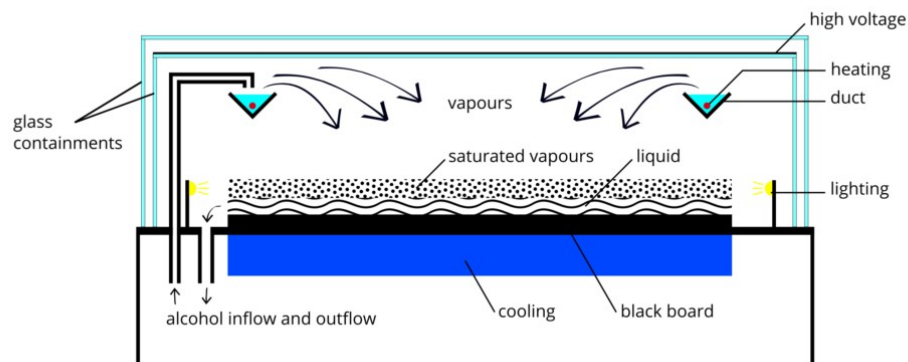
تصویر شماره 6

تصویر شماره 7

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:

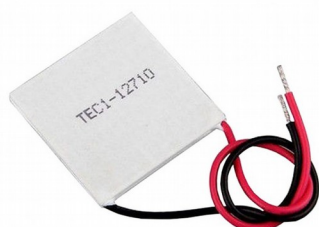
در این بخش قصد داریم دیتکتوری بسازیم که میتواند الکترون، پوزیترون، و گاما را آشکار سازی کند. به کمک این ستاپ هم میتوان به نحوه کار PET، فیزیک پشت سر آن بهتر پی برد و هم میتوان پرتوهای کیهانی را مشاهده کرده و لذت برد. در تصویر زیر میتوانید یک نمای ساده شده از اتاقک ابر مشاهده کنید [تصویر شماره 8]



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



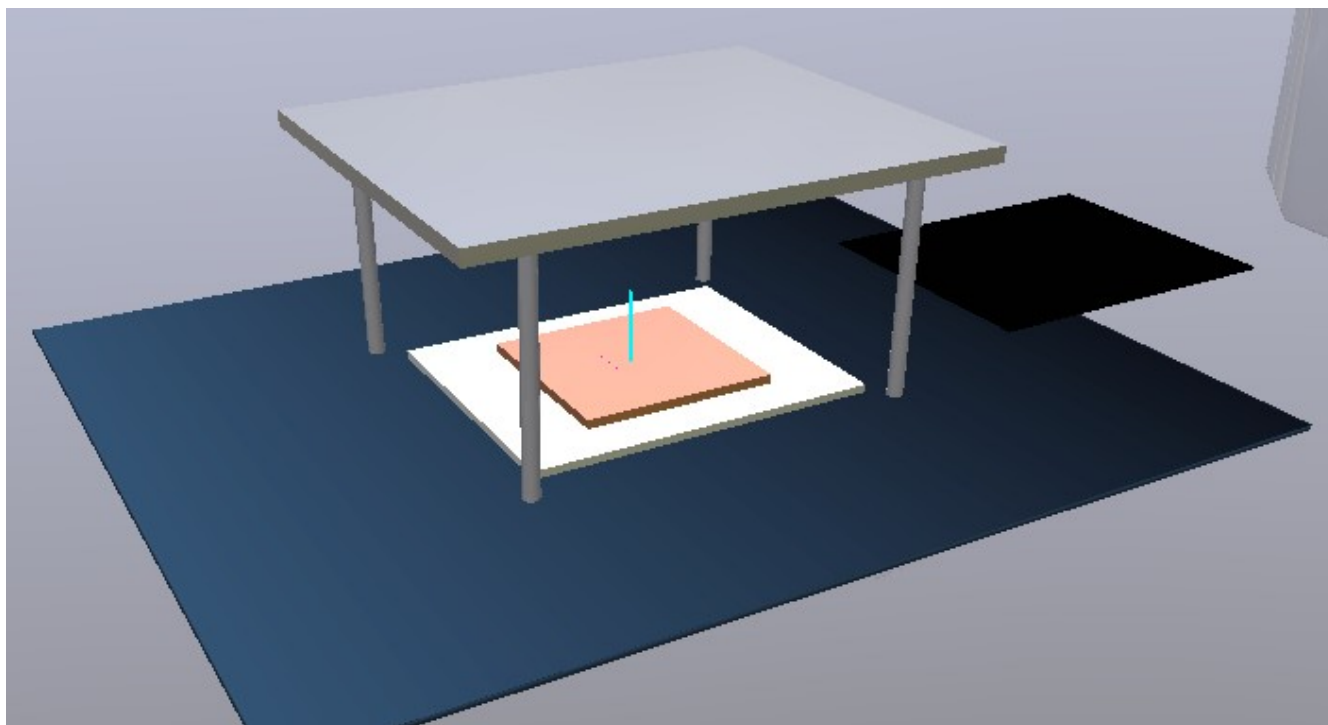
تصویر شماره 9

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.



تصویر شماره 10

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



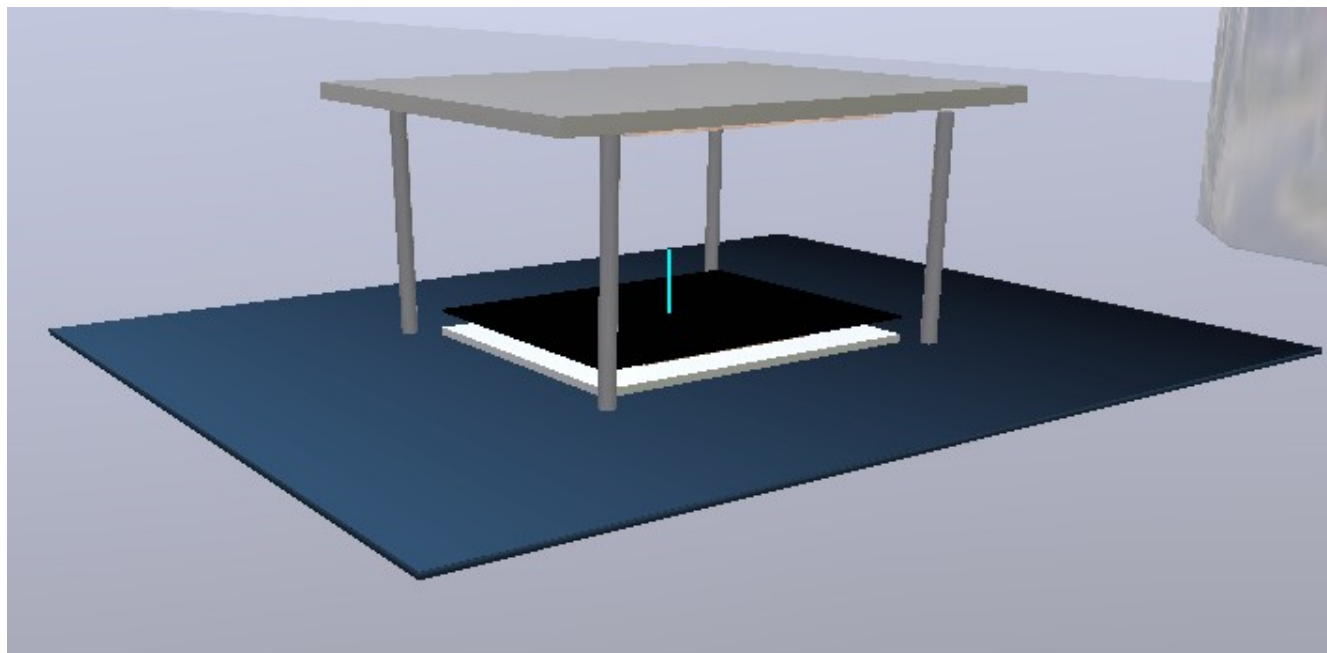
تصویر شماره 11

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 الک است. یعنی مثل تصویر زیر:

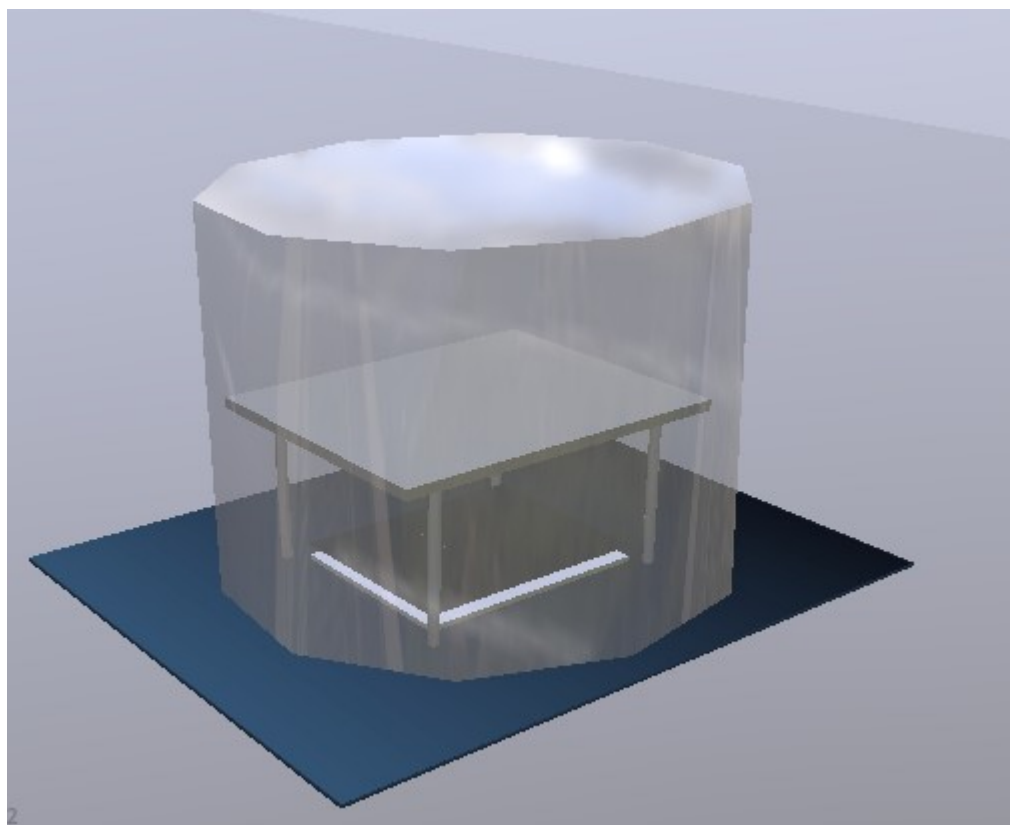


تصویر شماره 12

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



تصویر شماره 13



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

تصویر شماره 14

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 ۱۵]. فراموش نکنید که برای مشاهده راحتتر لازم است روی صفحه مشکی نور بتابانید.



تصویر شماره ۱۵

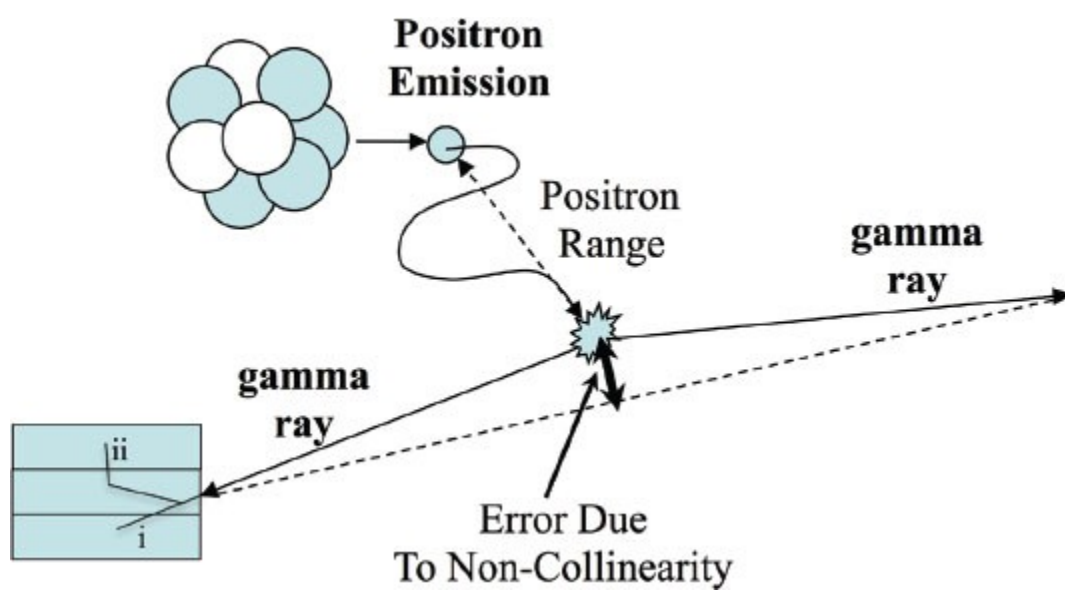


ارتباط با PET scan:

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 کوئل مغناطیسی هم استفاده کنید به صورتی که روی صفحه مشکی 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 اتم‌های 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:

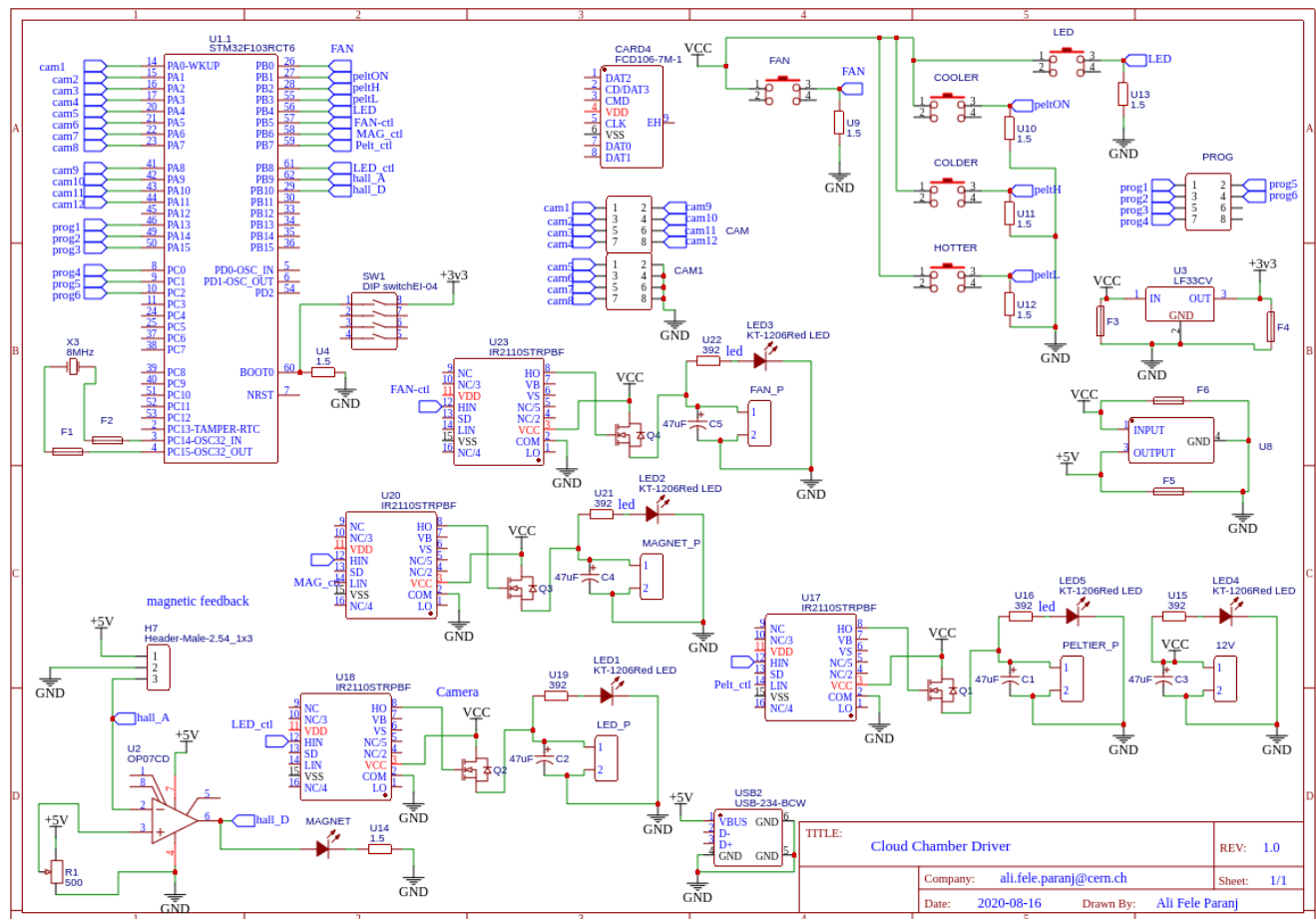
تصویر شماره 16



تصویر شماره 17

برد توسعه اتاقک ابر (development board)

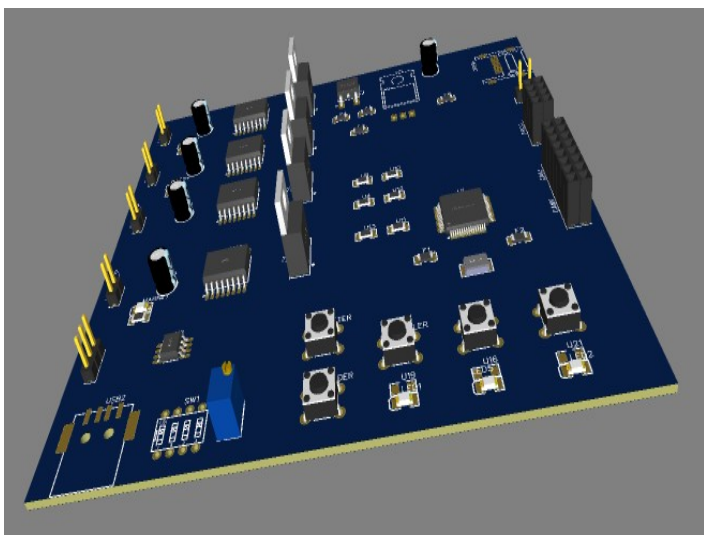
به کمک این برد توسعه میتوانید عنصر خنک کننده، فن عنصر خنک کننده، کوئل میدان مغناطیسی، LED های نور دهنده به سیستم را به کمک دکمه های فشاری که در پایین برد قرار دارند کنترل کنید. برای اینکه متوجه شوید در این برد توسعه المان ها به چه صورتی به همدیگر وصل شده اند، به شماتیک آورده شده در شکل زیر مراجعه کنید:



تصویر شماره 18

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> قرار خواهد گرفت. همچنین دستورالعمل های لازم جهت برنامه ریزی 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 برنامه ریزی تایمر و تولید موج PWM کمک بگیرید.



در نهایت، پس از سفارش دادن PCB ، مونتاژ کردن قطعات روی برد، برد کنترلی شما همچنین نمایی خواهد داشت.
از این به بعد میتوانید ذرات کیهانی را ببینید و لذت ببرید.

تصویر شماره 19

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://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.10.008)
- [4] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198349.g006>
- [5] [10.1007/s00381-007-0307-8](https://doi.org/10.1007/s00381-007-0307-8)
- [6],[7] [10.1007/s00381-007-0307-8](https://doi.org/10.1007/s00381-007-0307-8)
- [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/6ngHLevzbMbhjjHrUx6>
- [17] [Nuclear Medicine Physics: The Basics book by Arman Rahmim](#)