وسائل اندازه گیری پرتوهای یونساز

دکتر محمد رضا منظم

استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشكي تهران و مدير كل دفتر بررسي آلودگي هوا سازمان حفاظت محيط زيست

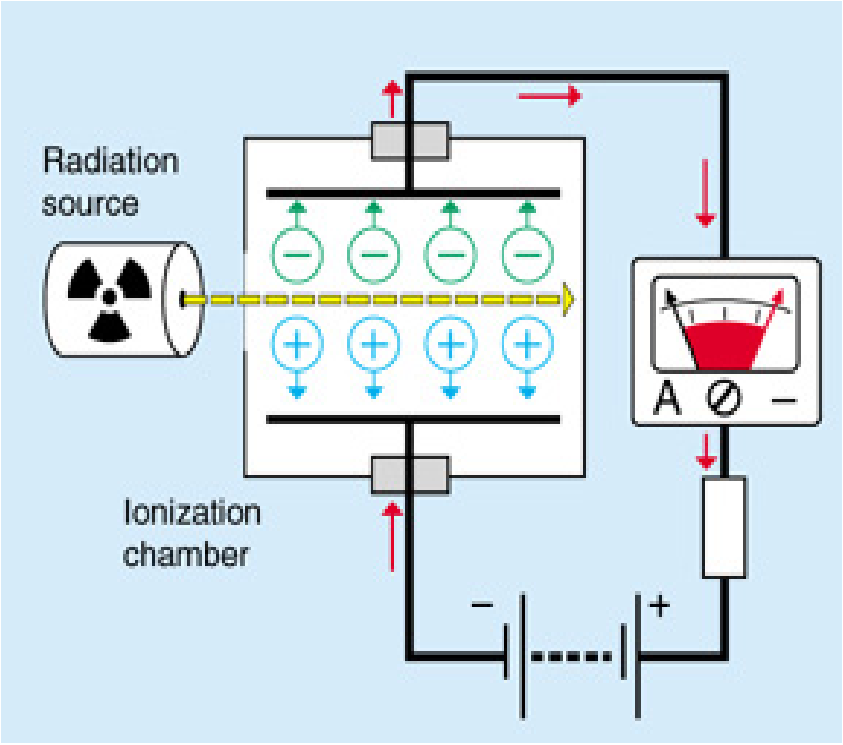
mmonazzam@hotmail.com

وسائل اندازه گیری پرتوهای یونساز

- انسان بطور طبیعی هیچ نوع احساسی برای درک تابش یونساز ندارد، لذا بطور کامل برای آشکار سازی و اندازه گیری تابش به وسائل اندازه گیری متکی است
- اصول اساسی بکار رفته در ابزارهای اندازه گیری بشرح جدول روبرو است:

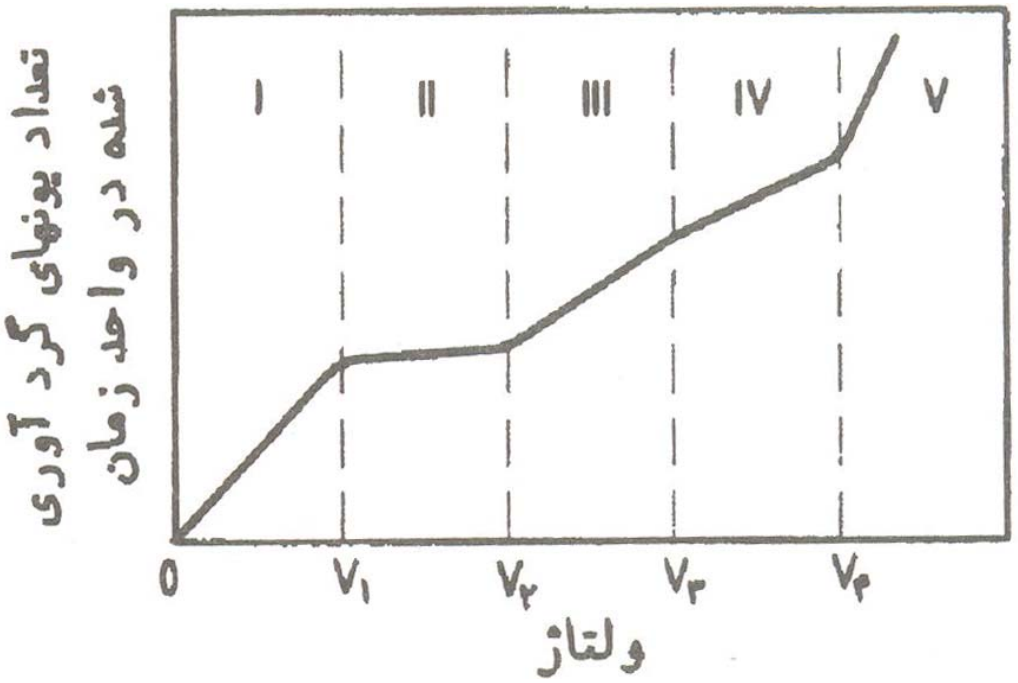
اثر	نوع وسیله اندازه گیری	آشکار ساز
الکتریکی	اتاق یونش	گاز
	شمارشگر تناسبی	گاز
	شمارشگر گایگر	گاز
	حالت جامد	نیمه رسانا
شیمیائی	فیلم	امولسیون عکاسی
	دز سنج شیمیائی	جامد یا مایع
نور	شمارشگر سوسوزن	بلور یا مایع
	شمارشگر چرنکوف	بلور یا مایع
گرمالیان	دزسنج گرمالیان	بلور
گرما	گرماسنج	جامد یا مایع

شمارشگرهای گازی



- در این شمارشگرها پرتو یونساز به گاز برخورد کرده و ایجاد یون مینماید، یون ایجاد شده تحت تاثیر اختلاف پتانسیل منبع تغذیه ، جریان پیدا میکند و تپ حاصل نشانگر رد پرتو یونساز می باشد.
- در این آشکار سازها فضای بین دو الکترود از گاز مناسبی پر شده است.
- با تغییر در اختلاف پتانسیل اعمال شده روی الکترودهای یک آشکارساز میتوان پنج ناحیه را تشخیص داد.

نواحی مختلف شمارشگرهای گازی



ناحیه I : در این ناحیه اختلاف پتانسیل اعمال شده به الکترود خیلی کوچک است در نتیجه شدت میدان الکتریکی بین دو الکترود کم است.

- در این شرایط یونهای مثبت و منفی فرصت کافی برای ترکیب مجدد داشته و احتمالا اتم خنثی اولیه مجددا تولید خواهد شد و انرژی پرتو جذب شده بصورت گرما تلف خواهد شد. به این ناحیه ، ناحیه ترکیب مجدد میگویند.

نواحی مختلف شمارشگرهای گازی
(ادامه)

- ناحیه (II) : با افزایش اختلاف پتانسیل دو الکترود ، بار جمع شده در الکترود تقریبا یکسان میماند، چون ترکیب مجددی صورت نمیگیرد و هیچ بار تازه ای غیر از آنچه که از برخورد پرتو در آشکار ساز تولید شده نیز بوجود نمی آید. به این ناحیه ، ناحیه یونش میگویند.
- ناحیه (III) : با افزایش اختلاف پتانسیل ، بار جمع شده افزایش می یابد. در واقع یونهای ایجاد شده دارای انرژی بالاتری بوده و در مسیرحرکت خود میتوانند یونهای بیشتری را نیز ایجاد کنند.
  - در نتیجه بهمنی از الکترون در قسمتهائی از آند مرکزی بوقوع می پیوندد. در نتیجه ارتفاع پالس خروجی افزایش می یابد.
  - با انتخاب یک ولتاژ خاص در این ناحیه ، مقدار یونسازی اولیه و بدنبال آن مقدار بهمنهای اطراف آند ، تنها با انرژی اولیه پرتو فرودی متناسب بوده و ارتفاع پالس بر حسب آن تغییر میکند. به این ناحیه ،ناحیه تناسبی میگویند.

نواحی مختلف شمارشگرهای گازی
(ادامه)

- ناحیه VI : در این ناحیه با افزایش ولتاژ اعمال شده، میدان الکتریکی در حجم حساس اتاقک گازی بقدری شدید است که حتی تولید یک جفت یون در حجم حساس اتاقک منجر به بهمنهای متعدد و غیر قابل کنترلی از الکترون خواهد شد. لذا در خروجی ، پالس تقویت شده ای بدست می آید که ارتفاع آن مستقل از انرژی و نوع پرتو فرودی بوده و تنها به خصوصیات الکترونیک آشکار ساز وابسته است. به این ناحیه گایگر مولر میگویند.
- ناحیه V : اگر ولتاژ اعمالی در الکترود اتاقک گازی از مقدار V4 بیشترشود،یک یونش منفرد باعث تخلیه الکتریکی در گاز شده، گازدرون آشکار ساز به هادی تبدیل شده و بین کاتد و آند اتصال کوتاه برقرار شده و در چنین حالتی با ایجاد جرقه در گاز،آشکار ساز میسوزد.

نواحی مختلف شمارشگرهای گازی
(ادامه)

- از ۵ ناحیه فوق فقط سه ناحیه برای اندازه گیری پرتوها مفید هستند.

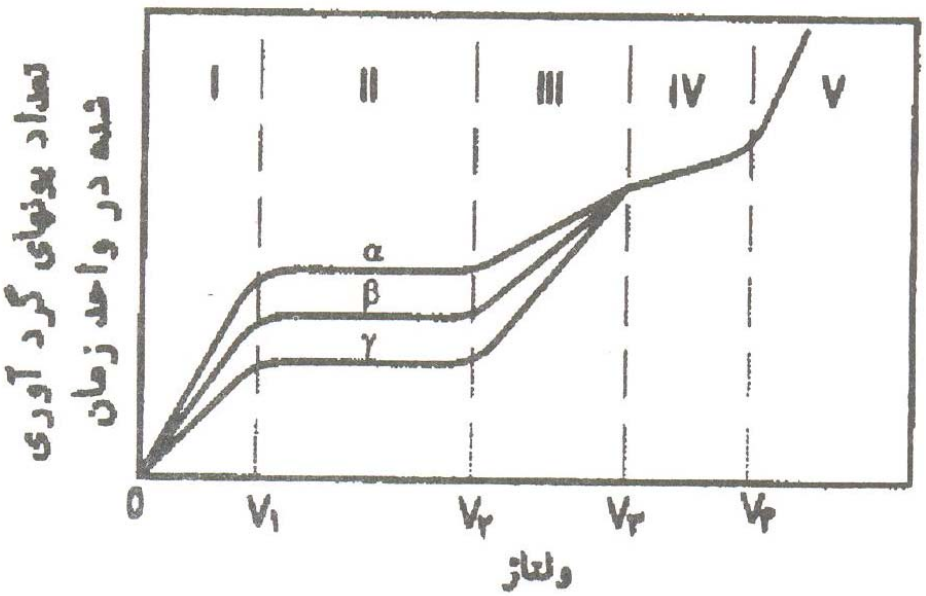
۱. ناحیه یونش (فشار نسبی بالاتر گاز مناسب است)
۲. ناحیه تناسبی (بصورت فشار کم گاز مناسبتر است)
۳. ناحیه گایگر مولر

- جهت اندازه گیری دقیق آهنگ دز در هوا از یک اتاقک یونش (که حاوی هواست) استفاده میشود زیرا در نواحی تناسبی و گایگر مولر وجود اکسیژن سبب جذب سریع الکترونهای آزاد و تشکیل یونهای منفی و اکسیژن و درنهایت ترکیب بین یونهای مثبت و منفی و یونهای سنگین منفی شده که این خود جلو تزاید الکترون را در این گاز می گیرد.

اتاقک یونش

- اتاقک یونی نام آشکارسازیست که در ناحیه یونش II کار میکند.
- در این ناحیه نه ترکیب مجدد صورت می پذیرد و نه تکثیر الکترونی اتفاق می افتد.
- ارتفاع پالس خروجی برای پرتو با انرژی مشخص تغییر چندانی نمیکند.
- ارتفاع پالس خروجی به نوع (LET) و انرژی پرتو بستگی دارد.
- از معایب عمده این آشکار ساز ضعیف بودن پالسهای خروجی بوده که نیاز به تقویت کننده و یا یک شمارنده بسیار حساس دارد (بعبارت دیگر پالسهای ذرات سنگین نظیر آلفا و پروتون و پاره های شکست آشکار میشوند)
- از محاسن عمده این نوع آشکار ساز(و البته تناسبی) بستگی اندازه پالس حاصل به تعداد جفت یونهای تولید شده که این خود امکان تفکیک انواع پرتوها و نیز پرتوهای با انرژی متفاوت را میسر میکند.

شمارنده تناسبی



- این آشکار ساز در ناحیه تناسبی (III) کار می کند.
- در این ناحیه تکثیر الکترونی (بهمن قابل کنترل) صورت می پذیرد.
- ارتفاع پالس خروجی برای یک ذره با انرژی مشخص با تغییر ولتاژ بطور قابل ملاحظه ای تغییر میکند.
- ارتفاع پالس خروجی به نوع و انرژی پرتو بستگی دارد.

شمارنده تناسبی
(ادامه)

- برای تعیین تعداد جفت یونهای حاصل از ضربیی بنام ضریب تقویت گازی (نسبت تعداد جفت یونهائی که جذب الکترودها میشوند به تعداد جفت یونهای اولیه که توسط پرتو تولید میشوند) استفاده میشود که با افزایش ولتاژ این ضریب افزایش می یابد.
- این نوع شمارنده دارای قابلیت تفکیک انواع پرتوها می باشد.
- با وجود بلند بوده پالسها نیاز به تقویت کننده دارد.
- جهت اشکار سازی ذرات آلفا، بتا، گاما ونوترون میتوان استفاده کرد.

شمارنده گایگر مولر

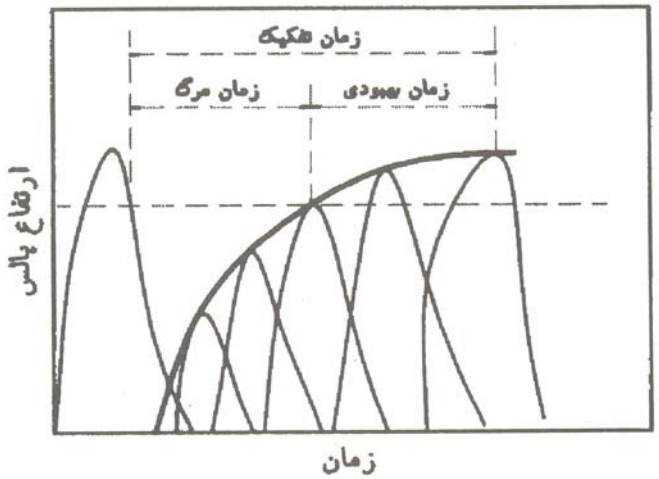
- این آشکار ساز در ناحیه گایگر مولر (VI) کار میکند.
- در این ناحیه تکثیر الکترونی (بهمن غیر قابل کنترل) صورت می پذیرد.
- ارتفاع پالس خروجی به نوع و انرژی ذره بستگی ندارد، لذا نمی توان از آنها جهت تشخیص انواع پرتوها و انرژیهای پرتوئی استفاده کرد.
- زمان مرگ این آشکار ساز طولانی است (حدود ۲۵۰ میکرو ثانیه)
- این آشکار ساز نیاز به تقویت کننده ندارد (ارتفاع پالس خروجی ۱/۴ ولت است)

زمان مرگ شمارنده گایگر مولر

- در یک شمارنده گایگر مولر ورود پرتو مصادف با تعداد زیادی بهمن در تمام حجم حساس آشکار ساز است.
- الکترونها ي منفی با سرعت زیادی به طرف آند حرکت کرده و جذب میشوند ولی یونهای مثبت به علت سنگینی با سرعت نسبی کمتری بسمت کاتد حرکت میکنند.
- شرایطی که تمام الکترونها جمع شده اند ، هنوز تعداد زیادی بار مثبت در همه جا از جمله در اطراف آند وجود دارد که نظیر یک پرده الکتریکی عمل نموده و از پتانسیل کاتد به طرز موثری میکاهد.
- در این شرایط اگر پرتو جدیدی وارد آشکار ساز شود، میدان الکتریکی کافی برای جمع کردن الکترونهای یونهای تولید شده و تکثیر آنها وجود ندارد ولذا مدتی طول میکشد تا یونهای مثبت فضای اطراف اند را تخلیه نموده و شدت میدان به میزان کافی برای شمارش پرتو جدید افزایش یابد، به این مدت زمان زمان مرگ می گویند.
- زمان مرگ: عبارتست از حداقل زمانی که باید بین دو ذره متوالی فرودی وجود داشته باشد تا شمارنده قادر به شمارش هر دو باشد.

زمان مرگ

- هرچه یونهای مثبت بیشتری در کاتد جمع آوری شوند، اختلاف پتانسیل بین دو الکترود به مقدار اولیه نزدیکتر شده و در نتیجه چنانچه ذره ای در طول این مدت وارد شمارنده شود، شمارش می شود ولی ارتفاع پالس خروجی نسبت به پالس اولیه کوچک تر خواهد بود.



- زمان بهبودی : عبارتست از فاصله زمانی بین زمان مرگ و بدست آمدن پالس کامل اولیه
- مجموع زمان مرگ و بهبودی زمان تفکیک نامیده میشود.

آشکار سازهای سوسوزن

- آشکارساز سوسوزن مبدلی است که انرژی پرتو یونساز را به درخشش نوری تبدیل میکند.
- این آشکار سازها بشکل جامد، مایع وگاز وجود دارند.
- بازده آشکار سازهای گازی برای پرتوهای آلفا و بتا نزدیک به ۱۰۰% است ولی برای پرتوهای گاما بسیار کم و معمولا کمتر از ۱% است.
- بازده آشکار سازهای جامد برای پرتوهای گاما بسیار زیاد است.
- آشکار سازهای مایع برای کاربردهای تحقیقاتی بخصوص برای اندازه گیری کربن ۱۴ و تریتیوم بطور وسیع بکار میروند. ولی در کاربردهای عملی فیزیک بهداشت کاربرد ندارند.
- فرآیند آشکار سازی سوسوزنی به دو بخش تقسیم میشود:

۱. جذب انرژی پرتو فرودی در سوسوزن وتولید فوتونهای مرئی
۲. تقویت نورمرئی بوسیله لوله تقویت گرنوری و تولید پالس خروجی

انواع سوسوزنها

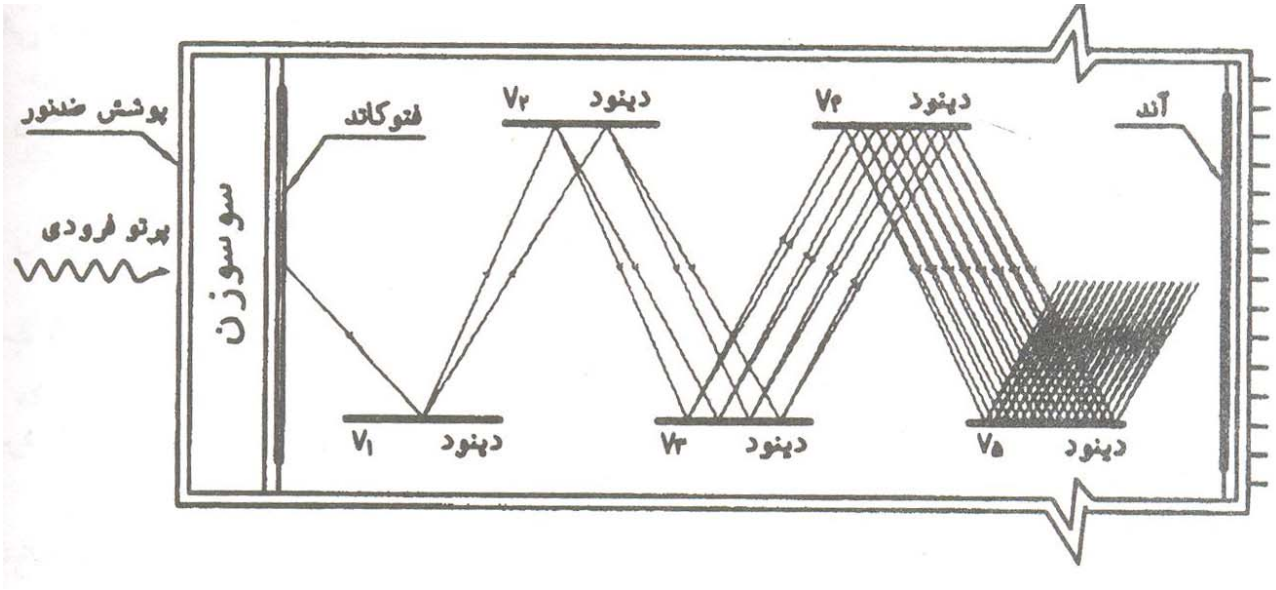
- سوسوزنها به اشکال معدنی (کریستالی) ، آلی و گازی وجود دارند.
- اغلب سوسوزنهای معدنی کریستالهای فلزات قلیائی به ویژه یدورهای فلزات قلیائی هستند که حاوی مقادیر جزئی از ناخالصی ها می باشند مثلا:
  - یدور سدیم با ناخالصی تالیم (فعال کننده تالیم) NaI(Ti)
  - یدور سزیم با ناخالصی تالیم CsI(Ti)
  - یدور کلسیوم با ناخالصی سدیم CaI(Na)
  - یدور لیتیوم با ناخالصی یروپیم LiI(EU)
  - فلورید کلسیوم با ناخالصی یروپیم CaF2(EU)
- گر چه میزان ناخالصی ها بسیار کم است ولی نقش مهمی در تولید نور دارند.

لوله تقویت گرنوری

- این لوله که اختصارا به آن لوله نوری یا PM (فوتومولتی پلایر) میگویند. یک جزء جدانشدنی از آشکار سازهای سوسوزن است.
- لوله تقویت گر نوری از یک لوله شیشه ای خلاء که در آن ورودی فوتو کاتد (ماده ای که در اثر برخورد نور ایجاد الکترون آزاد میکند) وبدنبال آن چندین دینود قرار گرفته ، تشکیل شده است.
- فوتونهای تولید شده توسط سوسوزن وارد لوله نوری شده و به فوتوکاتد برخورد میکند.
- الکترونهای آزاد شده از فوتو کاتد در یک میدان الکتریکی به طرف اولین دینود هدایت میشوند.
- هر دینود از لایه خاصی پوشیده شده که دراثر برخورد الکترون به آن الکترونهای ثانویه با ضریب معین تولید میکند.
- الکترونهای تولید شده در دینود اول بطرف دینود دوم که پتانسیل بالاتر دارد هدایت شده و شتاب میگیرند ودر این برخورد تعداد بیشتری الکترون آزاد میشود

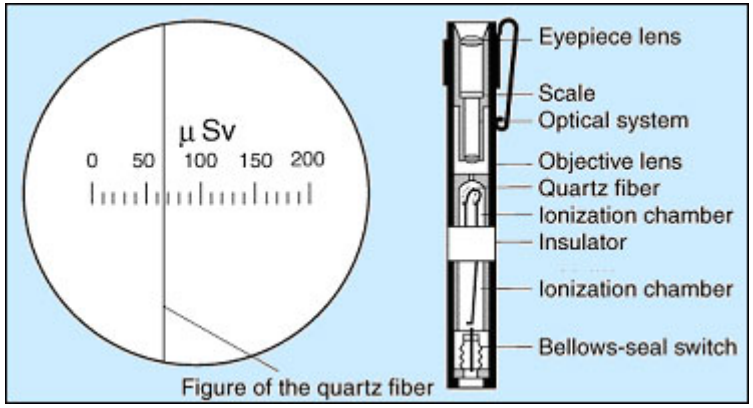
لوله تقویت گرنوری
(ادامه)

- این عمل دردینودهای بعدی ادامه یافته و درنهایت پالس بلندی تولید میشود.
- پالس تولید شده توسط لوله نوری ، داری بزرگی متناسب با انرژی پرتو جذب شده در سوسوزن است.



وسائل اندازه گیری دز
(دزیمتر جیبی)

- دستگاهی است برای اندازه گیری میزان دز دریافتی
- این دستگاه میتواند میزان اشعه ای را که در منابع تشعشعی بطور مستقیم و پراکنده به شخص می رسد اندازه بگیرد.
- نوعی از این دستگاه برای اندازه گیری اشعه ایکس و گاما و نوع دیگر آن برای اندازه گیری پرتوهای ذره ای است.
- دزیمتر جیبی در واقع نوعی اتاق یونیزاسیون خازنی است.
- بشکل خود نویس بوده و میتوان آنرا بلباس یا دهانه جیب وصل نمود.
- ظرفیت این دزیمتر در محدوده بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی رونتگن است



دزیمتر جیبی (ادامه)

- دزیمتر جیبی ممکن است خود مجهز به صفحه اندازه گیری باشد و یا برای خواندن میزان دز از دستگاه دیگری استفاده شود (پرکن – اندازه گیر)
- نوعی از دزیمترهای جیبی ، خود بخود مجهز به دستگاه اندازه گیری است، در ساختمان آن یک الکتروسکوپ با رشته ای از کوارتز قرار گرفته و برای خواندن دزیمتر را در مقابل نور نگهداشته با چشم از روی انحراف رشته کوارتز به مقدار دز جذب شده پی میبرند.
- این دزیمترها حتی اگر در معرض پرتو قرار نگیرند خود بخود تخلیه میشوند (پرتوهای زمینه) که باید آنرا در محاسبات و اندازه گیری وارد نمود.

فیلم بج

- یکی از رایجترین وسائل کنترل و اندازه گیری مقدار پرتوگیری بدن است.
- عبارتست از فیلمی به اندازه فیلمهای مورد استفاده در دندانپزشکی (فیلم) + قابی از جنس پلاستیک یا فلز (بج)
- میزان دز پرتو از روی شدت سیاه شدن فیلم در اثر پرتو تعیین میشود.
- برای استفاده از دز پرتو ایکس ، بتا ونوترون استفاده میشود.
- فیلمها: بصورت لایه های نازک و شفافی از جنس پلاستیک یا سلولز هستند که یک یا هر دو طرف آن با ماده بسیار حساس عکاسی (Emulsion) آغشته شده (برمورنقره) که قطر دانه های آن در حساسیت کار اهمیت زیادی دارد (در پرتوگیری اشعه ایکس قطر این ذرات حدود ۰,۳ میکرون است)
- روی ماده حساس فیلم لایه بسیار نازک ژلاتینی پوشانده شده (نقش در فعل وانعالات شیمیائی و حفاظت مکانیکی)
- فیلم با یک کاغذ مخصوص که نور از آن عبور نمیکند پوشیده شده
- مجموعه درون یک کاغذ ضخیم که شماره وکد گذاری شده قرار میگیرد.

فیلم بج (ادامه)

- بج: شامل چند منطقه است:
  - یک قسمت باز
  - ۵ قسمت دارای فیلترهای مختلف است:
    - سه نوع آن پائین پنجره باز (شامل صفخات نازک قلع، سرب ، کادمیوم وآلومینیوم)
    - دو پنجره از جنس پلاستیک با ضخامتهای مختلف بالای پنجره باز قرار میگیرد.
- این پنجره ها برای تشخیص پرتوهای متفاوت و همچنین پرتوها با انرژیهای متفاوت میباشد.مثلا ایکس و گاما را میتوان از همدیگر تشخیص داد.

فیلم بج
تشکیل تصویر نهان (latent image)

- اساس دزیمتری فیلم بج ایجاد فعل وانفعالات شیمیائی بعد از برخورد پرتو با ترکیبات نقره موجود در ماده حساس فیلم است.
- این فعل وانفعالات باعث سیاه شدن فیلم میشود.
- این سیاه شدگی را تصویر نهان میگویند.
- زیرا در حالت عادی پس از پرتوگیری چیزی روی فیلم دیده نمیشود(بلکه پس از ظهور و ثبوت این سیاهی قابل مشاهده است)
- علت سیاه شدن فیلم تاثیر پرتو بر برمورنقره و رسوب سیاه رنگ نقره است.
- پس از پایان ظهور و ثبوت، فیلم را با آب شستشو داده و فیلمهائیکه بیشتر پرتوگیری کرده اند، تاریکتر از فیلمهائی هستند که کمتر پرتوگیری کرده اند.

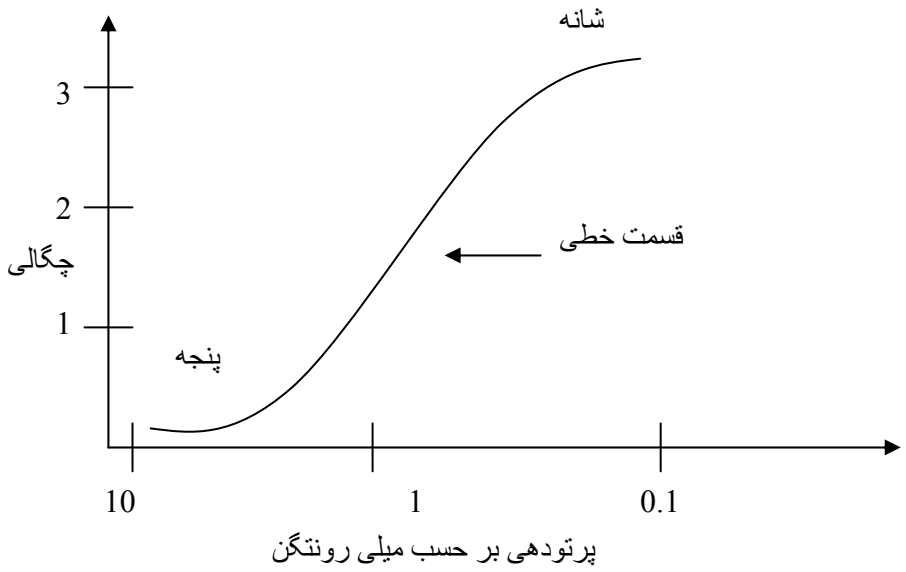
فیلم بج
(چگالی فیلم)

- برای تعیین میزان سیاهی (بعنوان عامل تعیین کننده میزان دز)، از میزان نور عبوری از فیلم استفاده می کند.
- به این منظور یک دسته پرتونورانی به شدت I_0 را برروی فیلم می تابانند، قسمتی از این نور جذب وقسمتی دیگر بشدت I عبور میکند.
- کدورت فیلم عبارتست از نسبت شدت اولیه به شدت عبوری
- چگالی فیلم عبارتست از:

$$D = \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

- چگالی ایجاد شده روی فیلم متناسب با میزان پرتو تابیده شده روی فیلم دارد.
- در خصوص نوترون مسیرهای تشکیل شده روی فیلم شمارش میشود.

فیلم بج
(منحنی مشخصه)



- اگر یک فیلم تحت تاثیر یکدسته پرتوقرار گیرد
- اثر فوتون روی فیلم ایجاد سیاهی میکند، اگر شدت فوتونها بیشتر شود، سیاهی بیشتری روی فیلم خواهیم داشت. بعبارتی پاسخ فیلم تابعی از مقدار پرتو تابشی است.
- با تغییر در شدت پرتو میتوان منحنی رسم نمود که پاسخ فیلم را بمقدار پرتو تابیده ربط دهد.

فیلم بج
(منحنی مشخصه)

- منحنی رسم شده را منحنی مشخصه میگویند که شامل پنجه (Toe) ، خطی (linear) و شانه (shoulder) می باشد.
- در قسمت پنجه منحنی پاسخ فیلم به تشعشع خیلی کم است (این قسمت در بازرسی پرتوگیری کارکنان از اهمیت زیادی برخوردار نیست)
- قسمت خطی برای اندازه گیری مقدار پرتو تابشی بکار می رود.
- قسمت شانه نشانه آنست که به چگالی یا دانسیته اشباع رسیده ایم (ارزش این ناحیه برای اندازه گیری پرتوخیلی کم است)

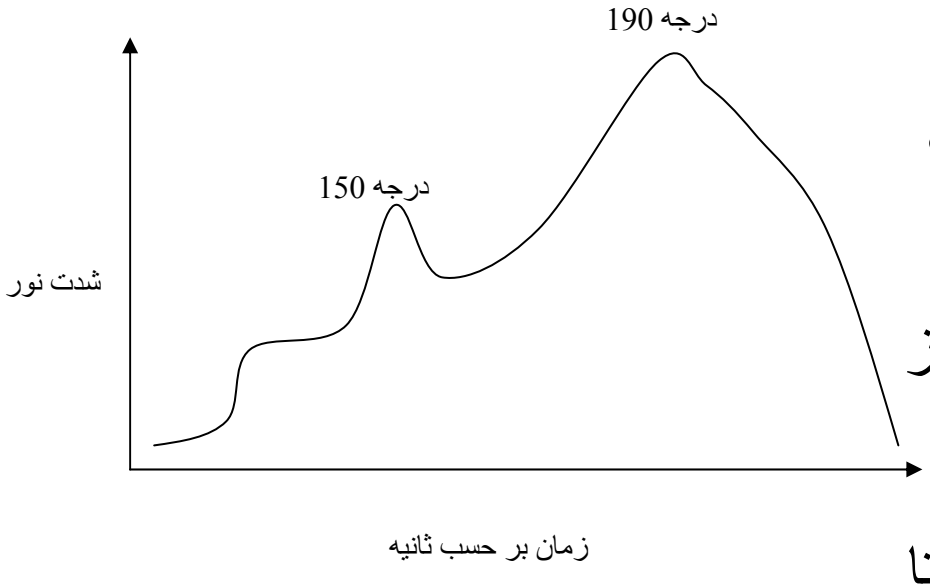
دز نوترون

- در اثر برخورد نوترون با انرژی بیش از 0.5 Mev به لفاف کاغذی، امولسیون و حتی قاب فیلم پروتون از هسته خارج میشود.
- اثر پروتون بر روی فیلم مسیری بصورت خط بجا میگذارد
- در صورتیکه انرژی نوترون کمتر از 0.5 Mev باشد پروتون حاصل انرژی کافی جهت اثر گذاری روی فیلم را ندارد.
- پس از ظهور و ثبوت فیلم را زیر میکروسکوپ قرار داده و تعداد خطوط ایجاد شده در هر سانتی مترمربع را میشمارند، این تعداد متناسب با میزان دز جذب شده می باشد.
- طبق قرار داد برای فیلمهائی از نوع Eastman Kodak NTA شمارش ۲۶۰۰ خط بر سانتی متر معادل ۱۰۰ میلی رم دز نوترون تابش شده از یک چشمه Pu-Be می باشد.

دز سنج گرمالیان
Thermo-luminescence Dosimeter
TLD

- بیشتر بلورها از جمله CaF_2 که حاوی Mn بصورت ناخالصی است و LiF بعد از قرار گرفتن در معرض تابش چنانچه گرم شوند از خود نور گسیل می کنند. این نوع بلورها را گرمالیان می نامند.
- هنگامی که کریستال گرمالیان تحت تابش پرتو یونساز قرار می گیرد انرژی جذب شده باعث:
  - تحریک و یونسازی اتمهای کرستال میشود
  - الکترونها سطوح انرژی خود را ترک کرده و به مدارهای با سطوح انرژی بالاتر میروند
  - اکثر الکترونها پس از مدت زمانی به مدارهای خود باز میگردند
  - بعضی از آنها ممکن است به مدارهای الکترونهای ناخالصی برگردند و در آنجا بدام بیافتند.
  - در صورت گرم کردن کریستال، الکترونهای بدام افتاده آزاد شده و تولید نور میکنند.
  - مقدار نور تابشی با تعداد الکترونهای بدام افتاده متناسب است.
  - تعداد الکترونهای بدام افتاده نیز با انرژی جذب شده از پرتو یونساز متناسب است.

دز سنج گرمالیان
TLD



- هنگامی که یک نمونه از کریستال (مثلا LIF)را در مدت زمانهای مختلف گرم کنیم و منحنی شدت نورهای تابش شده را بر حسب زمانهای مختلف رسم کنیم منحنی درخشندگی (glow Curve) بدست می آید.
- تعداد پیکهای منحنی نشانه ای از مراکز ناخالصی است. سطح زیر منحنی درخشندگی مقدار دز را نشان میدهد.
- محدوده اندازه گیری از چند میلی راد تا چند صد راد است.