

دوزیمتری پرتو توسط کالریمتر

دوز جذب می تواند مستقیماً با مشاهده آثار حرارتی ایجاد شده توسط پرتو یونیزان در ماده مورد نظر اندازه گیری شود. ولی در عمل مشکلات زیادی وجود دارد. اولین بار (1929) Stahel سعی کرد انرژی جذب شده در واحد حجم آب، هنگامی که در معرض فوتونهای پرانرژی قرار دارند را با استفاده از ترکیبی از کالریمتر و یک اتاقک یونیزاسیون پرازآب اندازه گیری نماید. نتایج این اندازه گیری دقیق نبود. ولی در 1956 از یک کالریمتر برای اندازه گیری دوز جذب در جرم کم از ماده به طور موفقیت آمیز استفاده شد. اصولاً کالریمتر یک روش اساسی اندازه گیری دوز جذب است، ولی غیر حساس بوده و معمولاً نیاز به وسایل پیچیده ای دارد، به آسانی قابل حمل نبوده و به طور تجاری در دسترس نمی باشد، به کندی عمل نموده و از زمانی که برای اندازه گیری تنظیم می شود مدتی طول می کشد تا به پایداری حرارتی برسد. در نتیجه کالریمتر معمولاً برای کارهای استاندارد و یا کاربردهای تحقیقاتی محدود می شود.

کالریمترها از نظر اندازه گیری به دو نوع هم دما (ایزوترم) و غیر هم دما تقسیم می شوند. کالریمترهای هم دما، مانند کالریمتر یخی، تغییرات فازی در یک درجه حرارت مشخص را که در اثر جذب انرژی به وجود می آید، اندازه گیری می نمایند. حال آنکه کالریمترهای غیر هم دما مقدار انرژی جذب شده را توسط تغییرات درجه حرارت اندازه گیری نموده، و معمولاً به دو صورت با درجه حرارت محیط ثابت و بی دررو (آدیاباتیک) مورد استفاده قرار می گیرند.

اندازه گیری دوز جذب پرتو معمولاً توسط یک سیستم مناسب غیر هم دما که از اصول هر دو روش آن استفاده نموده و کالریمترهای شبه بی دررو نامیده می شود، انجام می گردد.

کالریمترهای هم دما :

از دیر باز برای اندازه گیری فرآیندهای حرارتی طولانی مدت استفاده می شده است. مخلوط آب و یخ جدا شده از محیط اطراف، قادر است درجه حرارت ثابت و تکرارناپذیری تا حدود $^{\circ}\text{C} 4-10$ را ایجاد نماید. در این گونه کالریمترها ماده جاذب انرژی مخلوط آب و یخ بوده که عملاً هیچگونه تبادل انرژی با پوشش آب-یخ اطراف آن نداشته و با جذب انرژی تغییراتی در حجم یخ کالریمتر در اثر تغییر فاز یخ به آب به وجود می آید. بنابراین چنانچه آب و یخ در تعادل ترمودینامیکی باشند، مقدار یخی که تغییر فاز می دهد متناسب با انرژی توزیع شده در ماده جاذب است. این نوع کالریمترها در اندازه گیری های میکروکالیمتری (برای اندازه گیری اشعه) مناسب نیستند.

کالریمترهای غیر هم دما :

الف _ با توجه حرارت محیط ثابت : در این نوع کالریمترها ماده جاذب انرژی در پوششی با درجه حرارت ثابت و یکنواخت محصور بوده و معمولاً از آن برای اندازه گیری فرآیندهای حرارتی کوتاه مدت، خصوصاً با تندی ثابت استفاده می شود. مزیت این کالریمترها در این است که انرژی مبادله شده توسط جاذب کالریمتر با پوشش توسط قوانین شار انرژی قابل محاسبه و اصلاح است. برای پوشش درجه حرارت ثابت معمولاً از مخلوط آب و یخ استفاده می شود.

ب _ کالریمترهای بی دررو : چنانچه جسمی هیچگونه تبادل حرارتی با محیط نداشته باشد، بنا به تعریف تعادل بی دررو دارد. و این در صورتی است که درجه حرارت جسم و محیط اطرافش همواره یکسان باشد. در یک سیستم کالریمتری چنانچه تغییرات درجه حرارت در اثر اتلاف حرارت نسبت به درجه حرارت قابل اندازه گیری ناچیز باشد، عملاً آن را سیستم بی دررو می نامند. در این سیستم ها ماده ای که دوز جذب در آن اندازه گیری می شود، به نام ماده جاذب یا عنصر حرارتی، با توده ای از مواد، معمولاً به نام پوشش، محصور شده و مجموعه در داخل جرم بیشتری از مواد به نام محافظ محصور و جدا می شود. بسته به نحو کار کالریمتر در داخل یا برخی قسمتها، اعم از عنصر حرارتی، پوشش و حفاظ وسایل حساس به درجه حرارت (ترمیستر یا ترموکوپل) و گرم کن الکتریکی نصب شده است. با استفاده از این وسایل پوشش اطراف ماده جاذب به گونه ای کنترل می شود که همواره درجه حرارت ماده جاذب را داشته باشد. مزیت این سیستم ها کاهش اتلاف حرارتی و اشکال آن عدم امکان ارزیابی یا اصلاح این اتلاف، هر چند جزئی، می باشد.

ج - کالریمترهای شبه بی دررو : در این سیستم برای کاهش اتلاف حرارت، درجه حرارت پوشش به گونه ای تغییر داده می شود که همواره تبادل حرارتی با ماده جاذب کالریمتر ناچیز باشد. به علاوه در این سیستم می توان اتلاف حرارتی هر چند ناچیز را با استفاده از منحنی درجه حرارت _ زمان در عنصر حرارتی ارزیابی نمود. اصول این نوع کالریمتر را می توان به راحتی با شکل شماتیکی 10-1 توضیح داد. ملاحظه می شود عنصر حرارتی (ماده جاذب کالریمتر) توسط پوشش احاطه شده و تغییر درجه حرارت پوشش توسط حفاظ اطراف آن و از طریق یک مکانیزم کنترلی بیرونی انجام می شود. در این شکل منحنی های تغییرات درجه حرارت ماده جاذب، پوشش و حفاظ اطراف آن نسبت به زمان برای یک اندازه گیری کالریمتری نشان داده شده است. درجه حرارت حفاظ قبل از آغاز اندازه گیری برای مدتی ثابت نگه داشته می شود تا درجه حرارت ماده جاذب و پوشش آن نیز به درجه حرارت تعادل برسد. چنانچه این زمان به قدر کافی باشد، میزان تغییرات درجه حرارت به

مقادیر بسیار ناچیزی کاهش می یابد. به عبارت دیگر مبادله حرارت با پوشش ناچیز می شود. در این لحظه می توان تابش پرتو به کالریمتر را آغاز نمود. همزمان با تابش پرتو با تندی معین، بایستی درجه حرارت پوشش نیز با اعمال انرژی با همان تندی افزایش یابد. زیرا چنانچه افزایش میزان درجه حرارت در هر دو یکسان باشد، مبادله حرارت کماکان ناچیز باقی می ماند. برای این کار درجه حرارت حفاظ در طول تابش پرتو بایستی درجه حرارت ماده جاذب را به طور خطی تعقیب نموده و با همان تندی افزایش یابد. کنترل بی دررو درجه حرارت حفاظ می تواند به طور دقیق توسط کنترل فیدبک خودکار انجام شود.

در انتهای زمان تابش اشعه، به طور همزمان کلیه اعمال حرارتی قطع می شود. در این حالت سیستم در وضعیت جدیدی از حالت تعادل بوده و می تواند اندازه گیری جدیدی را شروع نماید. در صورت کنترل صحیح درطول اندازه گیری مبادله ناچیز حرارت نبایستی تغییر نماید. اگر مبادله حرارتی بین ماده جاذب و پوشش در آغاز آزمایش صفر بوده و میزان افزایش درجه حرارت در هر دو دقیقاً یکسان باشد، سیستم آدیاباتیکی کامل بوده و نیازی به هیچگونه اصلاحی ندارد. ولی عملاً آغاز آزمایش مبادله حرارتی ناچیزی وجود داشته و میزان افزایش درجه حرارت جاذب و پوشش و حفاظ کاملاً یکسان تنظیم نمی شود، بنابراین در انتهای اندازه گیری مبادله حرارتی متفاوتی وجود دارد. با ثبت منحنی های درجه حرارت - زمان در کالریمتر و مشخص شدن سابقه درجه حرارت پوشش، هر گونه اتلاف انرژی می تواند ارزیابی شده و اصطلاحاً مربوط به آن در محاسبه دوز جذب اعمال شود.

کالریمتری که در 1956 برای اندازه گیری دوز جذب استفاده شد، یک کالریمتر همگن بود که به روش شبه بی دررو عمل می نمود. در این نوع کالریمترها جرم کمی از ماده جاذب با جرم بیشتری از همام ماده محصور شده و به وسیله یک شکاف باریک و تخلیه شده از هوا از نظر حرارتی جدا می گردد. پوشش به نوبه خود با جرم بیشتری از مواد به صورت حفاظ محصور و جدا می شود. هنگام تابش به روش شبه بی دررو عمل شده و درجه حرارت پوشش دقیقاً درجه حرارت عنصر حرارتی را تعقیب می نماید. با افزایش درجه حرارت پوشش تا درجه حرارت عنصر حرارتی، می توان اتلاف حرارتی آن را کاهش داد. اتلاف حرارت از پوشش به طرف حفاظ پدیده مرتبه دوم است. در این کالریمترها هنگام درجه بندی مقدار معینی انرژی حرارتی به گرم کن نصب شده در عنصر حرارتی داده می شود.

چنانچه عنصر حرارتی در کالریمتر آب با ظرفیت حرارتی ویژه در حدود $4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ باشد، برای دوز جذب 2 گری (200 rad)، معادل دوز جذب روزانه در یک نمونه رادیوتراپی، افزایش درجه حرارت برابر 0.0005°C خواهد بود. برای اندازه گیری این درجه حرارت با دقت 1% بایستی سیستم اندازه گیری قادر به آشکارسازی تغییرات درجه حرارت تا حدود چند میلیونیم درجه سانتی گراد باشد. اگر ماده تحت تابش مانند بسیاری از کالریمترها کربن باشد، افزایش درجه حرارت حدود 6 مرتبه بزرگتر خواهد بود، ولی هنوز اندازه گیری دقیق دارای مشکلاتی می باشد. در اندازه گیری مقدار کم انرژی، یک تبادل بسیار ناچیز حرارت بین جرم جدا شده با محیط اطرافش می تواند تأثیر قابل توجهی بر روی اندازه گیری داشته باشد. چنانچه برای بهتر مشخص نمودن نقطه اندازه گیری عنصر حرارتی کوچک ساخته شود، نسبت سطح به حجم آن افزایش یافته و این امر سبب تشدید پدیده تبادل حرارتی می شود. در عمل دلایل دیگری هم برای عدم کاهش جرم عنصر حرارتی وجود دارد. همان گونه که قبلاً ذکر شد، عنصر حرارتی نیاز به ترمیستور و گرم کن دارد و اینها از موادی متفاوت با آن ساخته شده و بنابراین پرتو را به طریقه دیگری جذب می نمایند. بنابراین جرم عنصر حرارتی در مقایسه با جرم مواد داخل آن بایستی بزرگ باشد تا سبب اختلال جدی در اندازه گیری ها نشود.

پیچیدگی بیشتر به خاطر آن است که تمام آثار حرارتی در عنصر حرارتی الزاماً به خاطر انرژی انتقالی، آن گونه که در تعریف دوز جذب ذکر شده، نمی باشد. تابش می تواند در عنصر حرارتی تغییرات شیمیایی حرارت را یا حرارت گیر ایجاد نماید و یا انرژی می تواند در شبکه کریستالی ذخیره شود. جنس عنصر حرارتی می بایستی با دقت انتخاب شود به طوری که دارای نقص حرارتی ناچیز و یا دقیقاً شناخته شده باشد. معادله اصلی که دوز جذب D، در یک نقطه در عنصر حرارتی را با انرژی آزاد شده E_h به صورت حرارت، و انرژی ذخیره شده E_s به صورت شیمیایی یا فیزیکی، در عنصر حرارتی ارتباط می دهد، به صورت زیر است:

E_s نقص حرارتی نامیده شده و چنانچه انرژی در شبکه کریستالی ذخیره شده و یا یک واکنش انرژی خواه به وجود آید مثبت است. مقدار آن برای واکنشهای انرژی زا منفی می باشد. از این جهت مواد ساده مانند فلزات یا کربن کمترین مشکل را دارند.

چنانچه ماده کالریمتر متفاوت از ماده ای باشد که در نظر است دوز جذب در آن به دست آید، انتقال دوز جذب از ماده کالریمتر به ماده مورد نظر دارای مشکلاتی می باشد. اولاً مواد متفاوت به طرق مختلف بر روی میدان تابش تأثیر گذاشته و تولید شارهای تابشی متفاوتی در دو ماده می نماید. ثانیاً بر طبق ضرائب جذب انرژی و قدرت توقف در مواد مختلف، نسبتهای مختلفی از انرژی تابشی جذب می شود. مشکل دوم در تمام دوزیمترهایی که مواد جاذب آنها متفاوت از ماده دوزیمتر است، مشترک می باشد.

ساختن کالریمترهای دوز جذب مشکل است ، زیرا از چندین قسمت ساخته شده که می بایستی از یکدیگر از نظر حرارتی نارسانا بوده ولی تمامی آنها دارای سیمهای الکتریکی برای سنسورهای درجه حرارت و المانهای حرارتی می باشند . یک کالریمتر ساده دوز جذب آب توسط (Domen 1980) معرفی شده که اساساً شامل یک ترمیستور با قطر $2/0\text{ mm}$ بین دو لایه بسیار نازک پلی اتیلن می باشد ، و به طور افقی در داخل چهارچوب پلاستیکی نصب شده و درداخل یک تانک آب جدا قرار می گیرد . پرتو از بالا به سطح آب می تابد و بنابراین لایه پلی اتیلن مانع از جابه جایی آب در اثر گرادیان حرارتی در داخل تانک می شود . نفوذپذیری حرارتی کم آب ، امکان اندازه گیری تنیدی دوز جذب در آن را تا حدود $400\text{ Gy}\cdot\text{min}^{-1}$ راد در دقیقه (با دقت 5% فراهم می نماید . اندازه گیری با این وسیله پس از توسعه در ساختمان و نحوه کار آن مقادیر دوز جذب پرتو 60 Co را حدود 3/5% بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده با کالیمتر کربنی نشان می دهد . این اختلاف به نقص حرارتی در آب مربوط شده و استفاده بیشتر از کالیمترهای آبی نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه نقص حرارتی دارد . در دوزیمتری به روشهای کالریمتری مشکلات اصلی عدم حساسیت آنها و کمی اطمینان از تبادل حرارتی ناچیز بین عنصر حرارتی و محیط اطرافش در شرایط آزمایش می باشد . در حالتها ویژه ای این مسائل می تواند نادیده گرفته شود . مثلاً هنگام اندازه گیری پرتوهای شدید در پرتو پالسی می توان از کالریمتر استفاده نمود . زیرا مقدار زیادی انرژی برای جذب شدن وجود داشته و زمان تابش به قدری کوتاه است که فرصت کمی برای تبادل حرارتی وجود دارد . البته برای اندازه گیری تنیدی دوز جذب از روشهای دیگری استفاده می شود . به هر حال از دوزیمتری به روش کالریمتری در بخش کوچکی از اندازه گیری ها استفاده شده و بایستی روشهای دیگری با حساسیت بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد .