دزیمتر فردی آلبدو نوترون جدیدی بنام "نوترایران"

توسط : دکتر مهدی سهرابی
امور حفاظت در برابر اشعه

چکیده

در این مقاله طرح و مشخصات دزیمتر فردی آلبدو نوترون جدیدی بنام "نوترایران" که براساس اندازه‌گیری دوگانه نوترونهای مستقیما" تابیده شده به بدن و نوترونهای آلبدو خارج شده از بدن کار می‌کند مورد مطالعه تجربی و نظری قرار گرفته است. ساختمان این دزیمتر از یک پولک پلی‌کربنات در تماس با پولک فلوراید لیتیوم ـ تفلان (LiF^{6}) در زیر یک پولک کادمیوم تشکیل شده است و این مجموعه در پوششی از پلکسی گلاس قرار دارد. این دزیمتر در صورتیکه از طرف پولک فلوراید لیتیوم روی بدن پوشیده شود می‌تواند نوترونهای تابیده شده به بدن را که انرژی آنها بالاتر از MeV ۱ ≈ باشد از طریق شمارش رد پای هسته‌های برگشته اتمهای پلی‌کربنات در برخورد با نوترونها و همچنین نوترونهای آلبدو را از طریق شمارش ردپای ذرات آلفای تولید شده در اثر نوترونهای حرارتی آلبدو با اتم LiF^{6}، پس از آنکه رد پاها با روش خورش الکتروشیمی بزرگ شده باشند، اندازه‌گیری کند.

این دزیمتر قادر است از نوترونهای حرارتی تا نوترونهای با انرژی بسیار زیاد (مثلا" ۶۰۰MeV و بالاتر) را اندازه‌گیری نماید و این یکی از ویژگیهای اساسی دزیمتر مورد بحث است. پارامترهای مختلف این دزیمتر از نظر حساسیت به نوترون، دامنه دز نوترون، دامنه انرژی نوترون، عدم حساسیت به پرتوهای ایکس، بتا و گاما، عدم حساسیت به گرما و رطوبت محیطی و غیره بطور مقدماتی مطالعه و بررسی شده است و براساس آنها می‌توان ادعا کرد که دزیمتر آلبدوی "نوترایران" دارای امتیازات زیادی نسبت به سایر سیستم‌های دزیمتری موجود در جهان است. با این حال دارای مشکلاتی از جمله میزان شمارش زمینه رد پاها می‌باشد که لازم است قبل از کاربرد وسیع این روش برطرف گردد.

به امید آنکه این پژوهش ناچیز گامی در راه خودکفایی و آموزش دزیمتری در نیل به اهداف حفاظت در برابر پرتوها در ایران باشد.

۱ـ مقدمه

ابرات بیولوژیکی دزهای کم پرتوگیری بدن زیر تابش نوترون بنا بر یافته‌های اخیر توسط راسی (Rossi) تقریبا" ده بار بزرگتر از قبل است و از این رو در نشست‌های بین‌المللی

صحبت از افزایش دادن ضریب کیفی (Quality Factor) پرتوگیری نوترون با ضریبی ده بار بزرگتر است (۱و۲) . از طرف دیگر باتوجه به رشد سریع تکنولوژی هسته‌ای در جهان و در نتیجه ازدیاد کارکنان اطراف راکتورهای پژوهشی و مولد نیرو ، شتابدهنده‌های با انرژی زیاد به منظور تولید نوترون برای درمان سرطان ، چشمه‌های ایزوتوپی نوترون و غیره ، دزیمتری فردی مناسبی که بتواند دزهای بسیار کم نوترون را با توجه به استانداردهای پرتوگیری فردی اندازه‌گیری کند لازم است .

بطورکلی یک دزیمتر فردی نوترون مطلوب باید دارای مشخصات زیر باشد (۳) .

۱ ــ به نوترونها در دامنه طویلی از دز حساس باشد بطوریکه بتواند پرتوگیریهای نوترونی ناشی از کار عادی و موارد اضطراری را با دقت هرچه بیشتر اندازه‌گیری کند . دامنه دز نوترون مورد نظر از ۱ میلی‌راد تا ۱۰۰۰ راد می‌باشد .

۲ ــ دارای قابلیت اندازه‌گیری دز نوترون در دامنه طویل و متصل از انرژی ، یعنی از نوترونهای حرارتی تا نوترونهای با انرژی زیاد که در اطراف شتابدهنده‌های با انرژی زیاد موجود است باشد و حساسیت دزیمتر برحسب انرژی متناسب با منحنی مشخصه ضریب تبدیل دز معادل (Dose Equivalent) برحسب انرژی نوترون توصیه شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوها (ICRP) تغییر کند .

۳ ــ به پرتوهای الکترومغناطیسی مانند نورمرئی و غیرمرئی وپرتوهای بارساز (Ionizing Radiation) مانندپرتوهای ایکس، بتا و گاما و پرتوهای غیربارساز - (Nonionizing Radiation) مانند پرتوهای میکروویو و غیره حساس نباشد .

۴ ــ دزیمتر به گرما و سرما و رطوبت و فشار محیط حساس نبوده و قادر باشد که اثرات ثبت شده را برای مدت زیادی که دزیمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد حفظ نماید .

۵ ــ حساسیت دزیمتر بستگی به جهت تابیدن نوترون بر دزیمتر نداشته باشد .

۶ــ دزیمترسبک ، دارای حجم فضایی کم و ارزان بوده و شکننده نباشد تا بتوان از سرویسهای پستی برای ارسال آن به نقاط مختلف کشور استفاده کرد .

۷ ــ روش اندازه‌گیری و استفاده از دزیمتر ساده بوده و با آموزش کوتاه مدت بتوان کارکنان اجرای سرویس آنرا آموزش داد .

۸ ــ نتایج ثبت شده در دزیمتر را بتوان به دفعات اندازه‌گیری نموده و دزیمتر را پس از اندازه‌گیری جهت مراجعات و شکایات بعدی بایگانی کرد .

البته نظر به اختلاط میدانهای نوترونی با پرتوهای با انتقال خطی انرژی کم (low LET) و همچنین مشکلات ذاتی دزیمترهای نوترون ، دزیمتر نوترونی که بتواند تمام مشخصات فوق را دارا باشد ،هنوز عملا" در دست نیست و تا چند سال اخیر دزیمتری فردی نوترون منحصر به روش شمارش رد پای (Track) پروتونهای ناشی از برخورد سخت نوترونها با هسته اتم هیدروژن موجود در امولسیون فیلم و کاغذ پوشش آن بوده است (۴،۵) ، ولی این روش دارای نارسائیهایی است که نمی‌تواند نیازهای قانونی دزیمتری فردی را برآورده سازد . این نارساییها شامل حساسیت به نور و نیاز به تاریکخانه برای انجام عملیات ظهور وثبوت ،حساسیت‌فوق‌العاده به پرتوهای ایکس، بتا و گاما بطوریکه شمارش رد پاها را مشکل و یا غیرممکن می‌سازد ، حساسیت زیاد به رطوبت و گرما ، نیاز به شمارش خسته کننده رد پای پروتون در میدان دید تاریک زیر میکرسکپ با درستنمایی زیاد ، عدم حساسیت به نوترونها از انرژی حرارتی تاحدود ۰٫۷ MeV ، منحنی تغییرات انرژی نامناسب و دامنه دز محدود می‌باشد . با وجود این ، از آنجا که دزیمتری با مشخصات مناسبتر وجود نداشته است و نظر باینکه تخمین دز توسط این دزیمتر نیاز به

دستگاههای پیچیده ندارد ، این روش دزیمتری تا چند سال اخیر در اکثر مراکز اتمی کشورهای جهان مورد استفاده بوده است . نظر باینکه در ایران نیز تا سال ۱۳۵۶ از دزیمتر فردی نوترون در راکتور استفاده نمی‌شد این روش بعنوان شروع کار و تا مطالعه و برپا کردن روش‌های دزیمتری مناسبتر برای دزیمتری نوترون کارکنان مرکز تحقیقات هسته‌ای و سایر مراکزی که با نوترون کار می‌کنند در این سازمان برپا گردید ، ولی در سالهای اخیر دزیمترهایی با مشخصات مناسب ابداع گردیده است که ایران نیز در آن سهم قابل ملاحظه‌ای دارد . بدین‌ترتیب دزیمتری با روش شمارش رد پای پروتونها در امولسیون فیلم تقریبا " از رده استفاده برای دزیمتری فردی نوترون خارج شده است .

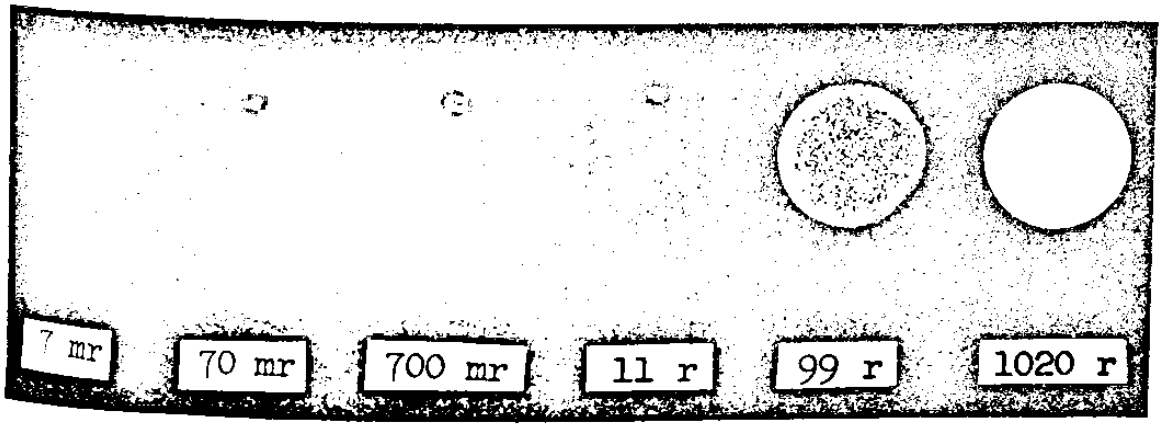
یکی از روشهای جدیدتر دزیمتری نوترون که کاربرد زیادی پیدا کرده است استفاده از روش خورش شیمیایی (Chemical Etching) رد پای پاره‌های شکافت (Fission - Fragments) در مواد عایق نظیر شیشه ، کوارتز ، میکا و پویژه پلیمرها است (۶–۱۰) . در این روش پولکهایی از ماده قابل شکافت (Fissionable Material) نظیر اورانیوم – ۲۳۵ ، اورانیوم–۲۳۸ ، توریوم–۲۳۲ و نپتونیوم–۲۳۷ در تماس با یکی از مواد عایق مناسب قرار گرفته و پس از بمباران نوترونی با انرژی بزرگتر از انرژی آستانه (Threshold Energy) شکافت ماده قابل شکافت ، ردپای پاره‌های شکافت در فیلم عایق ثبت شده که پس از خورش شیمیایی می‌توان رد پاها را با میکرسکپ معمولی رؤیت و به آسانی شمارش کرد . این روش در سال ۱۳۵۴ در ایران با آبکاری اورانیوم بر پولک طلا و آلومینیوم و استفاده از شیشه‌های دزیمتری فوتولومینسانس مورد مطالعه قرار گرفت و به صورت ایستگاههای دزیمتری سوانح در راکتور ۵ مگاواتی مرکز تحقیقات هسته‌ای جهت دزیمتری نوترون نصب گردید (۱۰) .

شمارش ردپای پاره‌های شکافت در فیلمهای نازک پلیمری با بکار بردن روش جرقه شماری (Spark Counting) ، شمارش نیمه خودکار این ردپاها را بسیار ساده کرد بطوری که دیگر نیاز به شمارش با بکار بردن چشم و میکرسکپ نبود (۱۱،۱۲) . با استفاده از این روش شمارش و کاربرد پولک‌های‌موادقابل شکافت Np^{237} و Th^{232} به ترتیب‌با انرژی آستانه شکافت نوترونی MeV ۶ر۰≈ و MeV۵ر۱≈ در تماس با فیلمهای با ضخامت ۱۰ میکرونی پلیمر پلی‌کربنات ثابت شد که می‌توان از این روش عملا " برای دزیمتری فردی در میدانهای نوترونی با انرژی بالاتر از انرژی آستانه مواد قابل شکافت یاد شده استفاده کرد (۱۳،۱۴) . این روش دزیمتری دارای مزایای زیادی نسبت به شمارش ردپای پروتون در امولسیون فیلم است و در چندین مرکز اتمی مختلف نظیر مرکز اتمی اوکریج در آمریکا (۱۳ ، ۱۴) ، مرکز اتمی چاکریور در کانادا (۱۵) ، مرکز اتمی هارول در انگلستان (۱۶) و چندین مرکز دیگر و سرویسهای تجاری مورد بهره‌برداری قرار گرفت . معهذا این دزیمتر دارای نارساییهایی نظیر پرتودهی پولک‌های مواد قابل شکافت است که می‌تواند به یک عضو بحرانی در بدن که در فاصله ۵ سانتیمتری از پولک یک گرمی Np^{237} قرار داشته باشد دز معادلی برابر ۵۷ میلی‌رم در ۲۰۰۰ ساعت کار پرتو دهد ، در نتیجه ارسال دزیمترها با پست ، احتمال گمشدن آن و پرتوگیری کارکنان خدماتی یک مجموعه بزرگ‌می‌تواندمخاطراتی‌را دربر داشته‌باشد .

ارائه روش خورش الکتروشیمی ردپای ذرات باردار راه تازه‌ای را در رشته ردپا شناسی (Trackology) هسته‌ای باز کرد (۱۷،۱۸) . با این روش رد پای ذرات باردار بویژه ذرات باردار با انتقال خطی انرژی خیلی کمتر از پاره‌های شکافت مانند هسته‌های برگشته (Recoil Particles) در اثر برخورد مستقیم نوترونها با اتمهای پلیمر ، به اندازه‌ای بزرگ می‌شود که حتی چشم غیرمسلح نیز می‌تواند ردپاها را مشخص و حتی شمارش نماید (۱۸) ،

بویژه اینکه روش تولید مستقیم رد پای هسته‌های برگشت باردار ناشی از برخورد مستقیم نوترونها با هسته اتمهای هیدروژن، کربن، نیتروژن و اکسیژن و سایر واکنشهای مربوط به نوترون و خورش الکتروشیمی این ردپاها زمینه تازه‌ای را در رشته دزیمتری نوترون بوجود آورده است (۳و۱۸، ۱۹). این روش دزیمتری بسیار ساده بوده و نیازی به مواد قابل شکافت ندارد و دارای حساسیت کافی برای دزیمتری فردی نوترون در حین کار عادی و یا مواقع اضطراری است. از ویژگیهای این روش درشت بودن ردپاها با تضاد نوری بسیار خوب است. شکل ۱ ردپاهای هسته‌های باردار برگشته‌ناشی از برخوردهای نوترونی با اتمهای پلی‌کربنات با فرمول عمومی $(C_{16}H_{14}O_3)_n$ در پولکی با ضخامت ۳۷۵ میکرون که اندازه واقعی آن را بدون درشتنمایی اضافی برحسب دزهای مختلف نوترون نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود ردپاها با چشم معمولی به صورت لکه‌های ریز برفی رنگ قابل رؤیت و شمارش بوده و در زیر میکروسکوب با درشتنمایی کم یا روی پرده اسلاید و یا روی صفحه میکروفیش کتابخانه به صورت لکه‌های سیاه با تضاد نوری خیلی خوب نیز قابل رؤیت و شمارش می‌باشد. این روش دزیمتری، تقریبا" تمام ویژگیهای دزیمتر فردی نوترون ذکر شده را دربر دارد، ولی به علت داشتن انرژی ثبت آستانه برای اندازه‌گیری دز نوترونهای با انرژی تقریبا" بزرگتر از MeV ۱، استفاده از این روش در میدانهای نوترونی با انرژی کوچکتر مثلا" اطراف راکتورها محدود می‌باشد. این روش دزیمتری پس از ارائه شدن آن در سال ۱۳۵۳ (۱۸)، در سطح جهانی گسترش یافته و در مراکز اتمی مختلف بویژه ایران زیر مطالعه و استفاده قرار گرفته و حتی به صورت سرویسهای دزیمتری نوترون توسط شرکتهای تجاری دزیمتری در بعضی از کشورها نیز ارائه گردیده است.

دزیمتری با روش استفاده از نوترونهای آلبدو (Albedo Neutrons)، یعنی کسری از نوترونهایی که پس از برخورد نوترونهای تند با بدن کند شده و از بدن او مجددا" خارج می‌شود راه حل دیگری برای دزیمتری فردی نوترونها بویژه در انرژی کم پائین‌تر از انرژی MeV ۱ ≈ است (۲۰–۲۵). نوترونهای تند وارده به بدن برحسب انرژی آن در عمقهای مختلف بدن کند شده و کسری از آن می‌تواند از بدن خارج شود و هرچه انرژی نوترونهای تابیده شده به بدن، کمتر باشد (باستثنای انرژیهای خیلی کم که در اثر جذب ممکن است خارج نشود) در عمق کمتری از بدن حرارتی شده و در نتیجه کسر بزرگتری از نوترونهای کند شده می‌تواند از بدن



شکل ۱ ــ عکس (با اندازه واقعی) دزیمتر پلی‌کربنات و ردپای هسته‌های برگشته از برخورد نوترونهای تند در پولکهای پلی‌کربنات با ضخامت ۳۷۵ میکرن که زیر تابش دزهای مختلف نوترون با پخش نوترونهای شکافت (Fission Neutrons) از راکتور تحقیقاتی فیزیک بهداشت مرکز اتمی اک ریج (ORNL) قرار گرفته و با روش خورش الکتروشیمی ظاهر شده‌اند (X1).

خارج شود . حساسیت این نوع دزیمترها بستگی زیادی به انرژی نوترون تابیده به بدن دارد و هرچه انرژی نوترون کمتر باشد حساسیت دزیمتر بیشتر است .

تاکنون طرحهای مختلفی از دزیمترهای آلبدو ارائه گردیده است که در آن اکثرا" ، از یک، دو و یا چند جفت دزیمتر ترمولومینسانس فلورید لیتیوم با دو فرم ایزوتوپی LiF^{6} و LiF^{7} تشکیل شده است . این دو دزیمتر هر دو به پرتوهای ایکس، بتا و گاما حساسند . دزیمتر اول علاوه‌بر این ، به علت وجود Li^{6} که دارای مقطع مؤثر ۹۴۵ بارن برای واکنش (n_{th} ، α) است به نوترون حرارتی نیز حساسیت فوق‌العاده‌ای نشان می‌دهد ولی‌دزیمتر دیگر به‌نوترونهای حرارتی حساسیتی ندارد . بدین‌ترتیب اگر این دو دزیمتر در زیر یک پولک کادمیومی روی بدن به نحوی قرار گیرند که پولک کادمیوم در مسیر نوترون تابیده شده به دزیمتر قرار داشته باشد به نوترونهای تابیده شده به بدن بویژه نوترونهای حرارتی غیر حساس بوده ولی به نوترونهای حرارتی آلبدو حساس می‌باشد . نظر به اینکه این‌دو دزیمتر به برخورد نوترونهای تند تقریبا" غیرحساس می‌باشند با کاهش نتیجه دزیمتر LiF^{7} از نتیجه دزیمتر LiF^{6} پس از پرتودهی دز نوترونهای تابیده شده به بدن بدست می‌آید . تفریق این دو نتیجه ، البته در صورتیکه مثلا" دز گاما نسبت به دز نوترون زیاد باشد ، خطای بزرگی را در تخمین دز گاما و نوترون بوجود خواهد آورد . این اشکال همچنین بستگی حساسیت نامتناسب برحسب انرژی نوترون و استفاده از دو یا چند دزیمتر در یک سیستم آلبدو بطور کلی دزیمتری با این روش را پیچیده و گاهی غیرممکن می‌سازد و دزیمتر ترمولومینسانس فقط برای یک بار قابل اندازه‌گیری است چون پس از حرارت دیدن ، اثرات ثبت شده الکترونی از بین خواهد رفت .

از میان روشهای مذکور ، دو روش دزیمتری به دلایل فراوان نسبت به سایر روشها مورد توجه قرار گرفته و در سطح جهانی مورد مطالعه و استفاده است . روش اول ، استفاده از خورش الکتروشیمی هسته‌های باردار برگشته در اثر برخورد نوترونها در اتمهای پلیمرها است (۳ ، ۱۸ ، ۱۹) و روش دوم ، دزیمتری براساس نوترونهای آلبدو است (۲۰–۲۵) . ولی نارساییهای‌ذاتی هریک همانطور که اشاره شد کاربرد هر روش را محدود می‌سازد . لذا روش دزیمتری عنوان این مقاله که نتایج پژوهشهای علمی این رشته در سازمان انرژی اتمی ایران است ،ترکیب اصول کار این دو روش دزیمتری در یک دزیمتر می‌باشد . با این ویژگی‌که از پدیده ترمولومینسانس استفاده نشده است . این روش دزیمتری مزایای هر یک از دو روش فوق را حفظ کرده و نارساییهای هر کدام را اصلاح نموده است . از آنجا که این دزیمتر برای اولین بار در ایران ابداع و در سطح جهانی نیز ارائه گردیده ،بنام دزیمتر فردی "نوتر ایران" نامیده شده است (۲۴ ، ۲۵) .

۲–اصول‌کار دزیمتر « نوترایران »

اصول کار این دزیمتر براساس دو روش دزیمتری استوار است :

الف ــ اندازه‌گیری دز نوترونهای تابیده شده به بدن از طریق شمارش ردپای هسته‌های برگشته در اثر برخورد نوترونهای تند با اتمهای تشکیل دهنده ملکولهای پلیمرپلی‌کربنات که با روش خورش الکتروشیمی به حد قابل رؤیت با چشم غیرمسلح بزرگ شده‌اند .

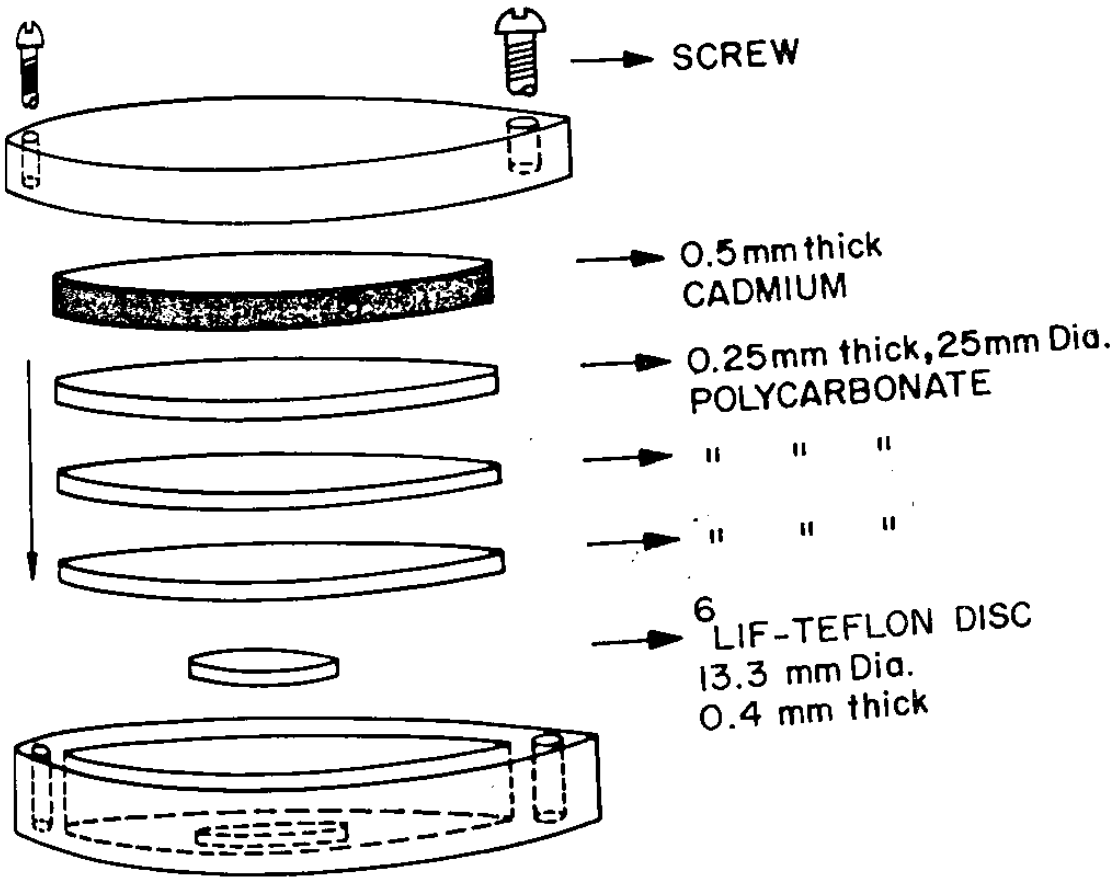
ب ــ اندازه‌گیری دز نوترونهای تابیده به بدن با روش اندازه‌گیری نوترونهای آلبدو از طریق ایجاد ذرات آلفا در اثر واکنش نوترون حرارتی با Li^{6} و ثبت این ذرات در همان پولک پلی‌کربنات که این ذرات نیز با روش خورش الکتروشیمی بزرگ شده‌اند .

این دزیمتر به نحوی باید طرح شود که بتواند هر دو اثر را در یک پولک پلی‌کربنات ثبت

کند . شکل ۲ ساختمان مقدماتی این دزیمتر و اجزاء آنرا براساس اصول دزیمتری فوق‌الذکر نشان می‌دهد که هر جزء وظیفه مشخصی را در رابطه با عملکرد دزیمتر بر روی بدن یا فانتوم معادل بافت آن انجام می‌دهد . این اجزاء عبارتند از :

ـ پوشش یا قاب دزیمتر

پوشش دزیمتر از جنس پلکسی گلاس است و با پیچ‌های محکم کننده ، اجزاء دزیمتر را در تماس با یکدیگر محکم نگهمیدارد . این پوشش قاب یا غلاف (Badge) دزیمتر نامیده می‌شود . در روی این قاب مشخصات دارنده آن و نام موءسسه یا سازمان و مدت استفاده از این دزیمتر و غیره ثبت می‌شود . ساختمان این دزیمتر تجربی است و جهت این مطالعات طرح شده است ولی مدل کاربردی آن برای کارکنان با پرتو در سازمان با استفاده از اجزاء بیشتری در دست طرح و بررسی است و احتمالا" عکس دارنده آن نیز روی قاب نصب خواهد شد.



شکل ۲ ـ ساختمان مقدماتی قاب و اجزاء دزیمتر فردی آلبدو نوترون "نوترایران"

ـ پولک کادمیوم

پولک کادمیوم دارای مقطع مؤثر جذب نوترونهای حرارتی برابر ۲۴۵۰ بارن بوده و می‌تواند نوترونهای حرارتی تابیده شده به بدن را جذب نماید و فقط نوترونهای با انرژی بالاتر از حرارتی را که دارای مقطع مؤثر جذب تشدیدی نباشد از خود عبور دهد و به بدن تابیده شود. ضخامت پولک کادمیوم در این دزیمتر ۰٫۵ میلیمتر می‌باشد.

ـ پولک‌های پلیمرپلی‌کربنات

ضخامت پولک‌های پلی‌کربنات بکار برده شده در این دزیمتر ۲۵۰ میکرون است که در دو طرف آن پوشش نازک پلاستیکی حافظ برای جلوگیری از خراش قرار دارد. این پولک‌ها جزئیات ردپاها را در این دزیمتر تشکیل می‌دهند. پولک پلی‌کربنات در صورتیکه با پولک فلوریدلیتیوم (^{6}LiF) در تماس نباشد فقط ردپای هسته‌های برگشته ناشی از نوترونهای با انرژی بالاتر از ۱ MeV ≈ را می‌تواند ثبت کند که این ردپاها پس از خورش الکتروشیمی در دو طرف پولک قابل رؤیت و شمارش می‌باشند. ولی در حالتی که پلی‌کربنات در تماس با پولک فلورید لیتیوم قرار بگیرد ذرات آلفای ناشی از فعل و انفعال $^{6}Li(n_{th}, \alpha)\ T$ با مقطع مؤثر ۹۴۵ بارن را در قسمتی از پولک پلی‌کربنات که زیر پولک فلوریدلیتیوم باشد نیز ثبت می‌کند. لازم به تذکر است که پلیمر پلی‌کربنات سابقاً" در شمار پلیمرهای غیرحساس به ثبت مؤثر ردپای ذرات آلفا بکار می‌رفت ولی پژوهشهای اخیر در این سازمان ثابت کرد که ذرات آلفا نیز با راندمان زیادمی‌تواند در این پلیمر ثبت گردد و این یافته‌ها در سطح بین‌المللی ارائه گردیده است (۲۶، ۲۷). در نتیجه پس از بکار بردن روش خورش الکتروشیمی، سطحی از پلی‌کربنات که در زیر پولک فلورید لیتیوم قرار دارد دو نوع ردپای مربوط به هسته‌های برگشته و ذرات آلفا را نشان می‌دهدولی در سطح خارج از پولک فلوریدلیتیوم و همچنین طرف دیگر پولک پلی‌کربنات فقط ردپای مربوط به هسته‌های برگشته ثبت می‌گردد. در نتیجه با کاهش شمارش در واحد سطح مربوط به ذرات برگشته از شمارش در واحد سطح مجموع دو نوع ردپا که شامل ردپای هسته‌های برگشته و ذرات آلفا می‌باشند می‌توان به شمارش در واحد سطح ذرات آلفا مربوط به نوترونهای آلبدو پی برد. پولک‌های اضافی پلی‌کربنات که فقط ردپای هسته‌های برگشته را در دو طرف خود ثبت می‌کند منحصراً" به ثبت نوترونهای مستقیماً" تابیده شده به بدن اختصاص دارد و درمواقع اضطراری و یا برای تعیین دزهای سه‌ماهه و یا سالیانه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

ـ پولک فلوریدلیتیوم ـ تفلان (^{6}LiF-Teflon)

این پولک که ۱۳٫۳ میلیمتر قطر و ۰٫۴میلیمتر ضخامت دارد حاوی ^{6}LiF بوده و درپلیمر ـ تفلان ادغام شده است و واکنش ذکر شده را توسط نوترونهای حرارتی‌که در ^{6}Li جذب شده‌اند انجام می‌دهد. در نتیجه این عمل ذرات آلفای ایجاد شده در پولک پلی‌کربنات ایجاد ردپا می‌کند که این ردپاها را پس از عمل خورش الکتروشیمی می‌توان حتی با چشم غیر مسلح رویت و شمارش کرد.

دزیمترها پس‌از اینکه مطابق ترتیب بالا، درون پوشش یا قاب دزیمتر قرار گرفتند در روی یک فانتوم (مدل معادل بافت بدن) بطری مانند پلاستیکی باابعاد ۳۰ سانتیمتر قطرو ۶۰سانتیمتر ارتفاع که از آب بعنوان مایع معادل بافت پرشده است در معرض تابش نوترونی‌در دزهای‌مختلف قرار می‌گیرند. در این آزمایش از چشمه نوترون ۵ کوری آمریسیوم‌ـبرلیوم (Am – Be) با انرژی متوسط ۴٫۳ MeV ≈ که روی یک میله فلزی‌ودر مرکز یک چهارپایه فلزی قرار دارد برای‌پرتودهی دزیمترها استفاده می‌شود.

پس از اینکه دزیمترها در روی فانتوم زیر پرتودهی نوترون قرار گرفتند، پولک‌های پلی ـ

کربنات از دزیمترها خارج شده و در شرایط استاندارد خورش الکتروشیمی بدست آمده در این آزمایشگاه با استفاده ازمحلول الکلی شامل ۱۵ گرم KOH ، ۴۰ گرم C_2H_5OH و ۴۵ گرم H_2O در ۲۵درجه سانتیگراد و کاربردسختی میدان (Field Strength) ۳۲ کیلوولت بر سانتیمتر در فرکانس ۲کیلو هرتز (2 kHz)برای مدت ۳ساعت قرار داده می‌شود .این شرایط استانداردد در مطالعات‌گذشته این‌آزمایشگاه باروشهای تجربی بدست‌آمده‌اند (۱۹ ، ۲۶-۲۹) .پس‌ازعمل‌خورش و خشک کردن دزیمترها می‌توان ردپاها را توسط یک میکرسکپ نوری با درشتنمائی کم و یا با بکار بردن سایر روشهای ساده نظیر انعکاس ردپاها روی پرده و غیره شمارش نمود . یکی از مهمترین پارامترهائی که این دزیمتر را برای کاربردهای مختلف عملی می‌سازد بزرگ بودن اندازه ردپاها با داشتن تضاد نوری بسیار مناسب است .

همانطورکه در بالا ذکر شد حتی چشم غیر مسلح نیز می‌تواند به‌آسانی ردپاها را در دزهای کم شمارش کند . این ردپاها را همچنین می‌توان با پروژکتور مخصوص اسلاید روی پرده و یاصفحه مخصوص میکروفیش کتابخانه منعکس کرد . در نتیجه ردپاها به‌آسانی و با خطای کم می‌توانند با سرعت شمارش شوند . در صورتیکه تعداد ردپاها در واحد سطح زیاد نباشند بطوریکه هر ردپازیر تاثیر میدان پتانسیل ردپاهای مجاور قرار نگیرد هر ردپا به‌صورت دایره کامل‌آشکار می‌شود ،ولی در صورتیکه زیر تاثیر میدان ردپاهای مجاورباشند به شکلهای مختلف ، همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود ، ظاهر خواهند شد . از خصوصیات دیگر این دزیمتر این است که اگر هر ردپا زیر تاثیر میدان ردپای مجاور باشد مرز مشخصی بین دو ردپا بوجود خواهد آمد بطوریکه دو ردپا پس از خورش، کاملا" به‌صورت مجزا و قابل تفکیک ظاهر می‌شوند و درهم فرو نمی‌روند .

۳-یافته و بررسی آنها

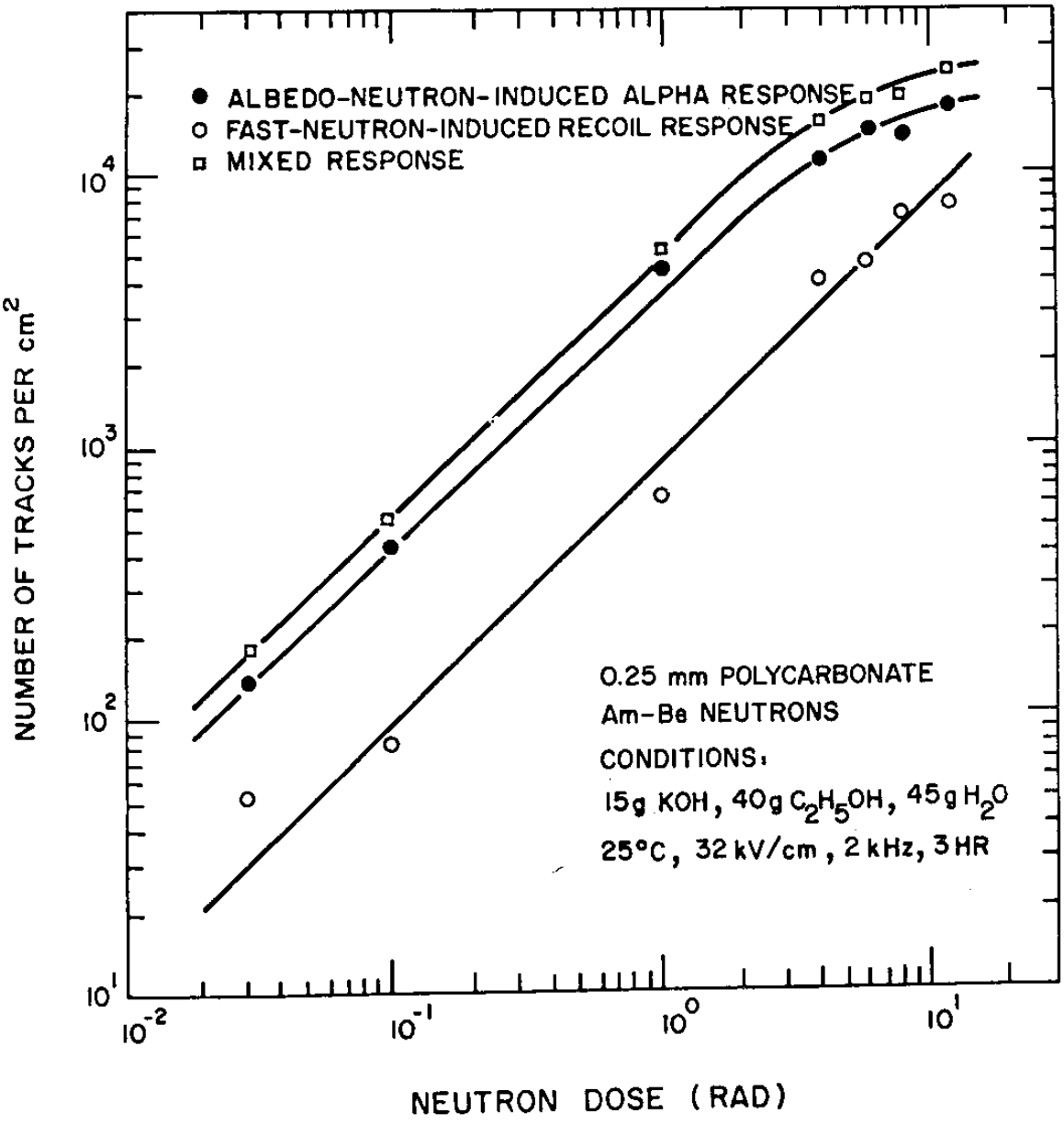
بطور کلی جهت برآورد عملکرد یک دزیمتر نوترون در میدان مختلط نوترون و گاما و یا پرتوهای دیگر و توسعه روش و تکنولوژی آن ، لازم است اصل پدیده و مشخصات دزیمتر نظیر حساسیت به‌نوترون و دامنه دزنوترون ، دامنه انرژی نوترون ، قابلیت ثبت‌ونگهداری آثارپدیده، اثر جهت برخورد نوترونها با دزیمتر ، حساسیت به سایر انواع پرتوها ، احتمال تخمین کیفیت نوترونها از نظر انرژی و پخش آن ، هزینه و سایر عوامل لازم مورد مطالعه قرار گیرد . اصل پدیده و روش‌کار دزیمتر پلی‌کربنات وعوامل ثبت ردپای هسته‌های برگشته در برخوردبانوترونها و همچنین ثبت ذرات آلفا در پلی‌کربنات در گزارشهای قبلی ارائه گردیده است (۵،۱۸،۱۹، ۲۶،۲۸،۲۹) . در این مقاله قسمتی از این یافته‌ها و مطالعات مقدماتی دزیمتر "نوترایران" با ساختمان فعلی آن تشریح می‌شود .

همانطورکه ذکر شد ، اساس کار این دزیمتر بردو پدیده دزیمتری یعنی پدیده ثبت ردپای هسته‌های برگشته بوجود آمده در اثر نوترونهای تند مستقیما " تابیده شده به‌بدن و ثبت رد پای ذرات آلفای ناشی از نوترونهای کند آلبدو در یک پولک پلی‌کربنات ، استوار است . شکل ۳ یک عکس میکرسکپی از ردپاهای ثبت شده هسته‌های برگشته و ذرات آلفا در سطح‌مرزی بین پولک فلوریدلیتیوم و پولک پلی‌کربنات را پس از عمل خورش الکتروشیمی نشان می‌دهد . این عکس نمایانگر نحوه کار این دزیمتر و سهولت شمارش آثار ثبت شده است . بخش بالای عکس مخلوط ردپای هسته‌های برگشته و ذرات آلفا مربوط به سطح مرزی زیر پولک ^6LiF و بخش پایین آن‌فقط ردپای هسته‌های برگشته خارج از پولک را نشان می‌دهد . ردپاهای‌تار محوشده در عکس مربوط به هسته‌های برگشته ثبت شده در طرف دیگر پولک پلی‌کربنات می‌باشد که زیر میکرسکپ کانونی‌نشده

شکل ۳ ــ یک عکس میکرسکپی از ردپای هسته‌های برگشته دربرخورد نوترونهای تند وذرات آلفای ناشی از نوترونهای آلبدو در مرز بین پولک فلوریدلیتیوم در تماس باپولک پلی‌کربنات باضخامت ۲۵۰ میکرن در دزیمتر "نوترایران" که با خورش الکتروشیمی ظاهر شده‌اند. بخش بالای عکس مخلوط ردپاهای هسته‌های برگشته و ذرات آلفا را در زیر پولک فلوریدلیتیوم و بخش پایین عکس فقط ردپای هسته‌های برگشته را درخارج از پولک فلوریدلیتیوم نشان می‌دهد. ردپاهای محوشده مربوط به هسته‌های برگشته در سطح دیگر پولک پلی‌کربنات است.

است . در این عکس اختلاف میان دوسری ردپا به‌آسانی قابل رویت و تفکیک است و همانطور که در بخش بالا ذکر گردید می‌توان شمارش تعداد ردپاهای مربوط به هردسته را ، با فرض برابـــر بودن شمارش ردپاهای هسته‌های برگشته در دوطرف پولک پلی‌کربنات ، به‌راحتی تعیین نمود .

یکی از عوامل مشخصه مهم یک دزیمتر ، قابلیت ثبت و اندازه‌گیری دز توترونها دردامنه‌دز طویلی از پرتوگیریهای نوترونی است که بتواند در شرایط پرتوگیری عادی یا اضطراری دز نوترون را با دقت اندازه‌گیری کند . شکل ۴ منحنی تغییرات شمارش ردپاهای ثبت شده در این دزیمترا



شکل ۴ ــ منحنی تغییرات حساسیت دزیمتر "نوترایران" برای ردپای ذرات آلفـــا ناشـــی از نوترونهای آلبدو و ردپای هسته‌های برگشته دربرخورد نوترونهای تند و مخلوط آنها بر حسب‌دز نوترون چشمه آمریسیوم ــ برلیوم (Am-Be) .

نشان می‌دهد . شمارش ردپاها متوسط شمارش ده میدان دید میکرسکپی‌با درشتنمائی حداکثرصد برابر را در یک پولک پلی‌کربنات با ضخامت ۲۵۰ میکرون و با سطح موثر زیر خورش الکتروشیمی با قطر ۱٫۵ سانتیمتر است . دز نوترونها از تبدیل فلاکس محاسبه شده از روی قدرت چشمه نوترون در روی سطح فانتوم معادل بدن به دز نوترون با استفاده از ضرایب تبدیل فلاکس به دز نوترون ، که در شماره ۲۱ گزارش علمی کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوها (ICRP) آمده ، انجام شده است (۳۰) .

نتایج یافته‌های شکل ۴ مناسب بودن حساسیت دزیمتر را به نوترونهای آلبدو و همچنین به نوترونهای اولیه مشخص می‌کند . طبق نتایج بدست آمده دامنه کاربرد منحنی تغییرات شمارش مخلوط ردپاها برحسب دز در شرایط خورش الکتروشمی‌استفاده شده تا دز ۶ راد می‌باشد که پس از آن تغییرات شمارش تمایل به اشباع شدن پیدا می‌کند که این اشباع احتمالا" ناشی از اتلاف برخوردهای ذرات آلفا برروی ردپای ذرات برگشته و یا بلعکس است . مطالعات برای تاییدبیشتر این دامنه دز و توسعه آن در دست بررسی است که می‌توان احتمالا" با تغییر پارامترهای خورش الکتروشیمی دامنه دزنوترون‌را تعییر داد . از طرف دیگر منحنی‌تغییرات شمارش ردپای هسته‌های برگشته تا دزهای زیاد خطی است که برد دز ناشی از کار عادی و سوانح را می‌تواند بدآسانی بپوشاند . بدین ترتیب می‌توان اطلاعات اضافی جامعی از نظر دز نوترونهای با انرژی زیر انرژی آستانه در مواقعی که دز پرتوگیری زیاد است بدست آورد . علاوه براستفاده‌ازپولک ^{6}LiF می‌توان با استفاده از پولک ^{10}B باداشتن مقطع موثر برابر ۳۸۳۷ بارن برای فعل وانفعال $^{10}B(n_{th}, \alpha)^{7}Li$ حساسیت این دزیمتر به نوترونهای آلبدو و در نتیجه به دز نوترونهای تابیده شده را تقریبا" به چهار برابر که نسبت مقطع موثر دو عنصر است افزایش داد .

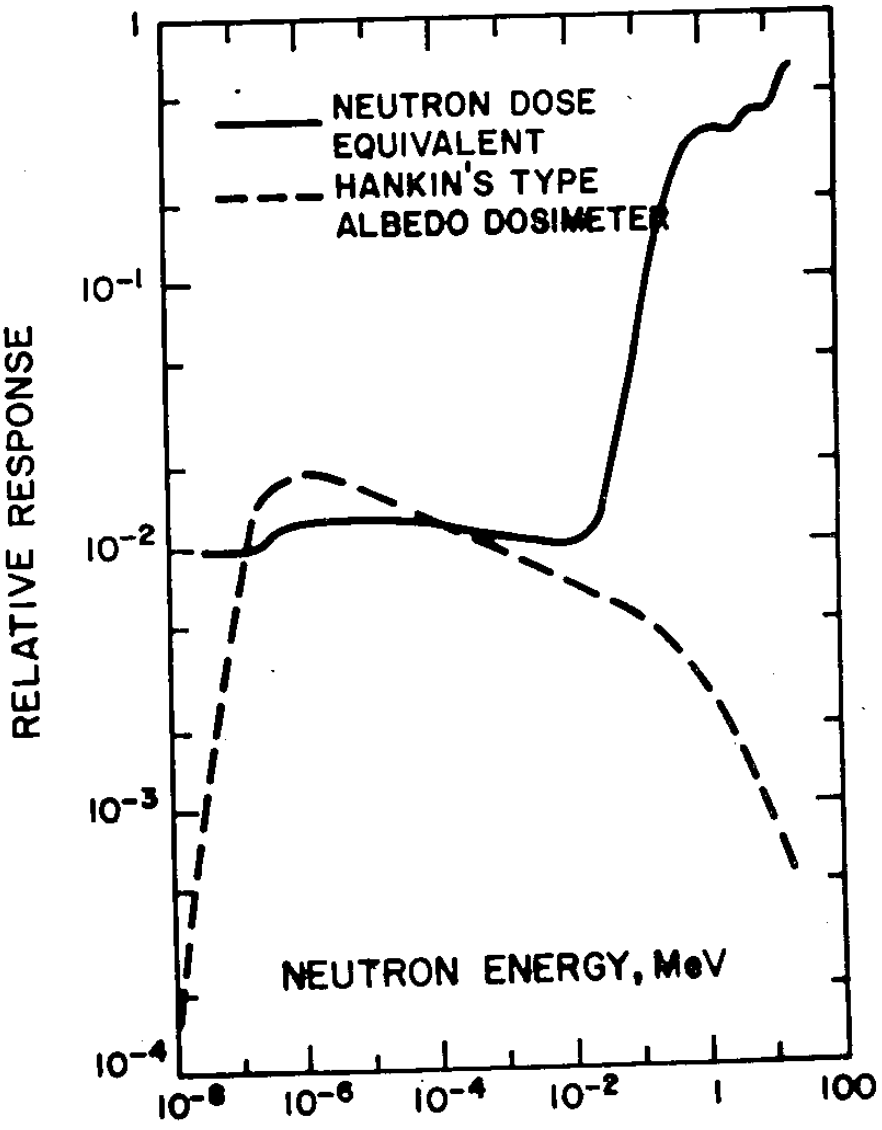
یکی ازمشکلات دزیمتری‌فردی نوترون عدم‌حساسیت دزیمترهای موجودبه نوترونهادرنواحی مشخصی ازدامنه‌انرژی است . به‌عنوان مثال دزیمتر فیلم NTA به نوترونهای با انرژی بالاتر از حرارتی تاحدود ۰٫۷ MeV حساس نیست .همچنین دزیمترهایی‌که براساس خورش‌شیمیایی ردپای پاره‌های شکافت کارمی‌کنند به نوترونهای باانرژی کمتر از ۰٫۶ MeV برای ^{237}Np و کمتر از ۱٫۵ MeV برای ^{232}Th حساس نمی‌باشند و دزیمتری که براساس خورش رد پای هسته‌های برگشته درپلی‌کربنات کارمی‌کند به نوترونهایی باانرژی کمتر از۱ MeV حساس‌نیست . مشکل دیگری که دزیمترهای نوترون دارا هستند مشکل تغییرات حساسیت دزیمترهابرحسب‌انرژی است که بامنحنی تغییرات ضریب تبدیل دز معادل نوترون برحسب‌انرژی ICRP تناسب‌ندارد . در نتیجه لازم است دزیمترها برای میدان نوترونی با انرژی مشخصی کالیبره شوند و موردکاربرد قرار گیرند .

براساس مطالعات تجربی و نظری به‌وضوح نشان‌داده شده است که منحنی تغییرات کلی حساسیت دزیمترهای آلبدو برحسب انرژی به‌نحوی است که هرچه انرژی نوترون بیشتر گردد حساسیت دزیمتر کمتر می‌شود (۳۱) . مطالعات تجربی نیز نشان داده است که منحنی تغییرات حساسیت برحسب انرژی برای پنج نوع دزیمتر نوترون آلبدو با طرحهای مختلف تقریبا" در دامنه انرژی بین ۱۰۰keV الی ۱٫۷ MeV تقریبا" باهم برابربوده وحساسیت‌دزیمتردر۱۰۰KeV تقریبا" ۱۵ برابرحساسیت آن در ۱٫۷ MeV می‌باشد .لازم بەتذکر است که منحنی‌تغییرات شمارش ردپای ذرات آلفای ناشی ازنوترونهای آلبدو برحسب دز نوترون شکل ۴ برای نوترونهای چشمه نوترون آمریسیوم‌ـ برلیوم (Be ـ Am) باانرژی متوسط ۴٫۳MeV می‌باشد . لذا باتوجه به‌منحنی تغییرات دزیمترهای آلبدوکه در زیر نیز به‌آن اشاره شده است انتظار می‌رود حساسیت این دزیمتر برای‌نوترونهای اطراف راکتورها که دارای انرژی متوسط خیلی کمتر از انرژی فوق

هستند حساسیت دزیمتر "نوترایران" تا بیشتر از یکصدبرابر بزرگتر از حساسیت فعلی آن باشند.

نظر به‌اینکه این دزیمتر از دو پدیده دزیمتری پیروی می‌کند، منحنی تغییرات حساسیت کلی آن برحسب انرژی نوترون ترکیبی از دو منحنی تغییرات انرژی به‌شرح زیر می‌باشد:

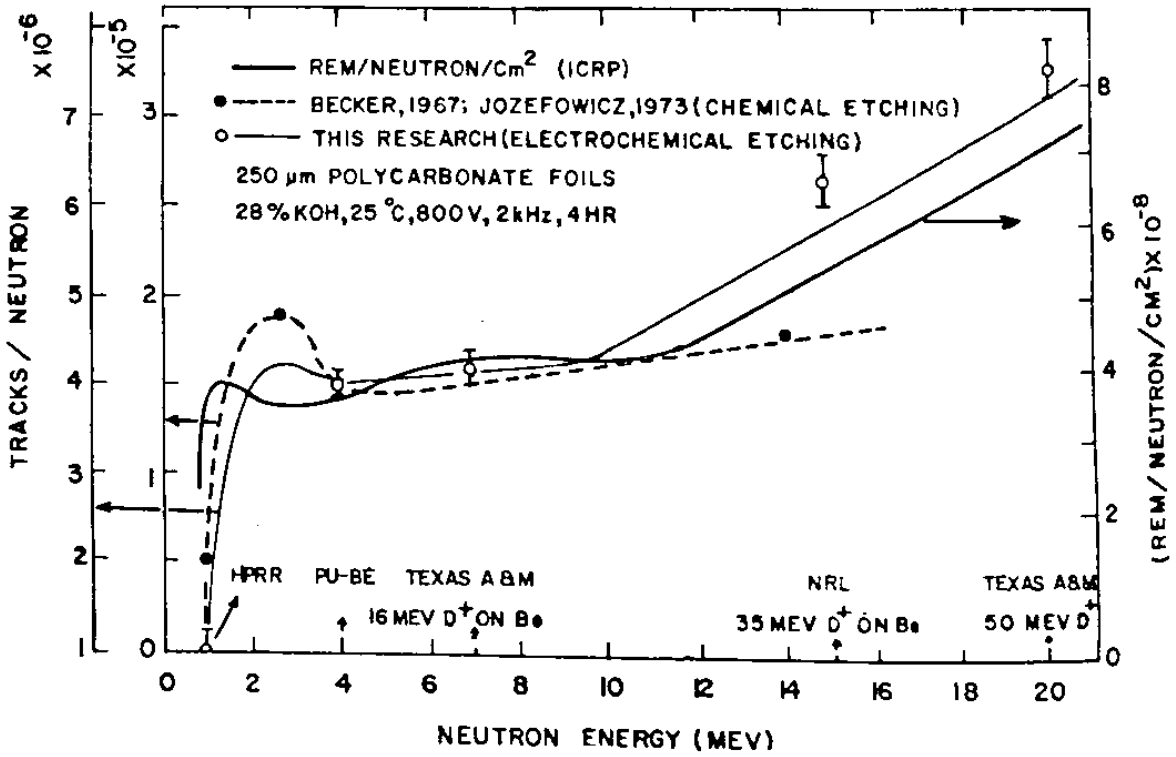
۱ ــ منحنی تغییرات حساسیت برحسب انرژی دزیمترهای آلبدو که درآن حساسیت برحسب انرژی کاهش می‌یابد و شکل ۵ منحنی تغییرات حساسیت نسبی یک‌چنین دزیمتر آلبدوی را برحسب انرژی نوترون در مقایسه با تغییرات ضریب تبدیل دز معادل نوترون برحسب انرژی منتشره توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابرپرتوها ICRF نشان می‌دهد (۳۲،۳۱). بطوری‌که مشاهده می‌شود تغییرات منحنی دزیمتر آلبدو برحسب انرژی بین 1eV تا ۵۰۰KeV با منحنی تغییرات دز معادل ICRP تناسب دارد و در انرژیهای بالاتر حساسیت کم شده و از آن دور می‌گردد.



شکل ۵ ــ منحنی تغییرات حساسیت محاسبه شده یک نوع دزیمتر آلبدو LiF در مقایسه با منحنی تغییرات ضریب تبدیل دز معادل توصیه شده در نشریه ۲۱ کمیسیون بین‌المللی حفاظت دربرابر پرتوها ICRP (از منابع ۳۲،۳۱).

۲ ـ منحنی تغییرات حساسیت برحسب‌انرژی نوترون مربوط به ردپای هسته‌های برگشته که دارای تغییرات متناسب با منحنی دز معادل برحسب انرژی است . شکل ۶ منحنی تغییرات حساسیت (ردپا بر نوترون) برحسب انرژی نوترون در مقایسه با تغییرات دز معادل نوترون برحسب انرژی نوترون ICRP-در سه تجربه مختلف با استفاده از چشمه‌های نوترونی نظیر راکتور تحقیقاتی فیزیک بهداشت مرکز اتمی اوک‌ریج در ایالت تنسی آمریکا که دارای اسپکتر نوترونهای شکافت (Fission Neutrons) می‌باشندو همچنین چشمه‌ایزوتوپی‌نوترون Pu — Be و نوترونهای با انرژی زیاد ناشی از سیکلوترون‌های پزشکی با انرژی مختلف را نشان می‌دهد . همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات حساسیت دزیمتر پلی‌کربنات از انرژی زیادتر از ۱ MeV تا ۲۰ MeV متناسب با تغییرات حساسیت برحسب انرژی ICRP است (۱۹۰۳) . در نتیجه دزیمتر می‌تواند بدون اینکه به‌اسپکترنوترون بستگی داشته باشد در برد مطالعه شده با ضریب تبدیل شمارش ردپا به رمی برابر ۷ ± ۱۰۵ ردپا در سانتیمر مربع بر رم مورد استفاده قرار گیرد . حساسیت این دزیمتر پلی‌کربنات حتی برای دزیمتری نوترونهای با انرژی MeV ۶۰۰ (متوسط انرژی ۳۴۰ MeV) نیز مناسب است (۳۳) .

بنابراین نظربه‌اینکه منحنی تغییرات حساسیت برحسب انرژی این دزیمتر ترکیبی از دو منحنی تغییرات انرژی است به نوترونهای از انرژی حرارتی تا انرژیهای زیاد حساس و دارای تغییرات متناسب باتغییرات دزمعادل ICRP درناحیه‌های مذکور است .ضمنا" می‌توان بامطالعه این دو نوع منحنی تغییرات و برآورد نسبت دو نتیجه شمارش مربوط به هسته‌های برگشتهو ذرات آلفا کیفیت و انرژی نوترونها را تخمین زد . همچنین از طریق مطالعه پخش قطر ردپاهای‌مشاهده شده نیز می‌توان به کیفیت نوترون‌های تابیده شده به دزیمتر پی برد (۳) .



شکل ۶ : حساسیت دزیمتر پلی‌کربنات (ردپابرنوترون) با ضخامت ۲۵۰ میکرون برحسب انرژی نوترون در سه تجربه مختلف با روشهای خورش شیمیایی و الکتروشیمی در مقایسه با تغییرات ضریب تبدیل دز معادل نوترون توصیه شده در نشریه شماره ۲۱ کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه ICRP

یکی از خصوصیات یک دزیمتر اینگرال این است که بتواند پدیده ثبت شده را برای مدت طولانی در شرایط نامناسب محیط کار و زیست از نظر رطوبت و گرمای زیاد در خود نگهدارد. مثلا" در بعضی از مناطق گرم نظیر جنوب ایران، درجه حرارت و میزان رطوبت نسبی بقدری بالاست که بعضی از دزیمترها مانند دزیمتر امولسیون فیلم اثرات ردپای پروتون را بسرعت از دست می‌دهد. در دزیمتر "نوترایران" ردپای ثبت شده در اثر تغییرات برگشت ـ ناپذیر در پلی‌کربنات است که فقط دردرجه حرارتهای بیشتر از درجه حرارت محیطی و نزدیک به نقطه نرمش (Softening Point) این پلیمر، میزان ردپا تباهی یا محوشدن رد پاها (Track Fading) قابل ملاحظه می‌شود. در نتیجه برای ردپای پاردهای شکافت، هسته‌های برگشته و ذرات آلفا درپلی‌کربنات میزان محوشدن ردپاها درشرایط نامناسب کار وزیست ناچیز است. مثلا" درمدت ۳ ماه نگهداری پولکهای پلی‌کربنات بمباران شده با پاردهای شکافت در شرایط ۳۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۹۷% هیچ کاهشی در شمارش ردپای پاردهای شکافت مشاهده نشده است. همینطور هیچ کاهشی درشمارش هسته‌های برگشته در پلی‌کربنات در درجه حرارت آزمایشگاه (۲۲ ـ ۲۵ درجه سانتیگراد) برای مدت یکسال نگهداری مشاهده‌نشده و فقط ۱۰% و ۳۰% کاهش در شمارش ردپای هسته‌های برگشته به‌ترتیب در درجه حرارتهای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد برای مدت یکماه و ۳۰% کاهش برای مدت ۴۰ ساعت نگهداری در درجه حرارت ۹۰ درجه سانتیگراد مشاهده گردیده است. حتی در رطوبت‌های نسبی بالا حدود ۹۷%، ۴% و ۲۲% کاهش پس‌از سه هفته نگهداری به‌ترتیب در درجه‌حرارتهای ۲۵ و ۵۰درجه سانتیگراد دیده شده‌است. ولی درتجربیات مختلف دیده‌شده که‌میزان محوشدن ردپاها در پلیمرهایی‌مانند استات سلولز، نیترات سلولز، و پلیمرهایی نظیر آن به‌مراتب بیشتر از میزان آن در پلی‌کربنات بوده است (۳).

چون نوترونهای تابیده شده به‌بدن همجهت نبوده و معمولا" در عمل، جهت تابیده شدن آنها به دزیمتر معلوم نیست، لذا اثر جهت تابیدن نوترون بر دزیمتر و نحوه عملکرد دزیمتر در شرایط متفاوت عامل مهم دیگر یک دزیمتر نوترون است. بویژه اینکه در مورد دزیمترهای آلبدو نه‌تنها جهت تابیدن نوترونها برخود دزیمتر اثر دارد بلکه به زاویه تابش آن بربدن نیز بستگی دارد. بطور کلی جذب نوترون در بدن انسان فلاکس نوترون وپخش انرژی آنرا تغییر می‌دهد وبستگی جهتی ذاتی دزیمتر به نوترونها بستگی دزیمتر را به جهت نوترون بیشترمی‌سازد. بستگی زاویه‌ای دزیمتر پلی‌کربنات به نوترون قبلا" مورد مطالعه قرارگرفته‌است(۳)، ولی‌درمورد این دزیمتر آلبدو ویژگیهای جهتی آن و فاصله آن از بدن در این آزمایشگاه زیر مطالعه است و نتیجه این مطالعه بعدا" گزارش خواهد شد.

بطور کلی میدانهای نوترونی از پرتوهای دیگر پاک نیست بلکه اکثرا" میدانهای نوترونی دارای آلودگی به پرتوهای ایکس، بتا و گاما می‌باشند که درجه آلودگی پرتوی آن بستگی زیادبه نوع چشمه و درنتیجه نحوه تولید نوترون و محیط اطراف میدان دارد. بدین ترتیب در عمل، یک دزیمتر نوترون باید دارای این توانایی باشد که یا اصلا" به‌پرتوهای با انتقال خطی انرژی (LET) کم، مانند پرتوهای ایکس، بتا و گاما حساس نباشد و یا اینکه در صورت حساس‌بودن بتواند این حساسیت را اندازه‌گیری و از حساسیت دزیمتر نوترون کم نماید. یکی از مزایای‌اصلی دزیمترهایی که براساس خورش ردپای ذرات باردار سنگین در پلیمرها کارمی‌کنند عدم حساسیت آن به پرتوهای با انتقال خطی انرژی کم است. عموما" در روشهایی که برمبنای اثر یا ضایعه پرتوی (Radiation Damage) موضعی شدید در مسیر ذرات باردار سنگین نظیر ذرات پروتون، آلفا، هسته‌های برگشته، پاره‌های شکافت و غیره در پلیمرها استوار است به پرتوهای

با انتقال خطی انرژی کم حساس نیست. چون در این نوع پرتوها، هر پرتو منفرد مثلا" یک الکترون نمی‌تواند ضایعه پرتوی کانونی قابل ملاحظه‌ای را در پلیمر ایجاد کند، مگر اینکه در موضعی مجموعه الکترونی وارده به یک نقطه برابر یا بیشتر از در موضعی وارده توسط یک ذره باردار سنگین باشد. لذا این نوع دزیمترها موقعی به پرتوهای با انتقال خطی انرژی کم حساس است که یا در جذب شده این پرتوها بالا و نزدیک به در آستانه ثبت یک ذره (حدود $10^6 \times 7{,}5$ راد) باشد که خورش سطحی را افزایش داده و ردپای هسته‌های برگشته بیشتری رااز زیر لایه‌ها ظاهر نماید و یا اینکه انرژی پرتوهای نظیر ایکس یا گاما به اندازه کافی زیاد باشد که بتواندفعل‌وانفعالاتی‌نظیر(γ, n)، (γ, p)، ($\gamma, 2n$)، (γ, pn)، (γ, α) و غیره را با اتمهای پلیمر مثل کربن و اکسیژن با تناوبی که ثبت آنها بتواند اثری در اندازه‌گیری داشته باشد ایجاد نماید. بر اساس تجربیاتی که ضمن کار با این دزیمتر جهت اندازه‌گیری آلودگی نوترونی میدانهای پرتو ایکس با انرژی زیاد تولید شده در یک شتابدهنده خطی و دو بتا ترون پزشکی، که انرژی آنها حتی بالاتر از انرژی آستانه وقوع فعل وانفعالات‌فوق بود، حاصل گردید نتیجه‌گیری شد که دزیمتر پلی‌کربنات به پرتوهای با انتقال خطی انرژی کم حتی در دزهای بالا نیز حساس نمی‌باشد (۳۴). در نتیجه این یکی از بزرگترین مزایای دزیمتر مورد بحث نسبت به دزیمترهای دیگر مانند دزیمتر امولسیون و دزیمترهای آلبدو بر اساس استفاده از پدیده ترمولومینسانس بشمار می‌رود. لذا این دزیمتر به پوشش ضد نور و تاریکخانه جهت عملیات آزمایشگاهی و همچنین به تصحیح در پرتو گاما نیاز ندارد بطوریکه‌حتی می‌توان توسط آن در میدانهای پرتوهای ایکس، بتا و گاما با شدت دزدهی زیاد دزیمتری نوترون را انجام داد.

علاوه بر پارامترهایی که ذکر شد، دزیمتر "نوترایران" به گرما و سرما حساس نبوده ودارای ساختمان شکننده نیست. هزینه لازم جهت کاربرد این دزیمتر شامل هزینه اولیه ساخت دزیمتر (که می‌تواند در داخل سازمان ساخته شود) و هزینه عملیات آزمایشگاهی ماهانه‌آن‌است. هزینه مواد اولیه ساخت هر دزیمتر حدود ۴۰۰ ریال خواهد بود که فقط برای یکبار پرداخت‌می‌گردد. این هزینه شامل خرید پولک فلوریدلیتیوم و مواد دیگر دزیمتر است. پس از ساخت هر دزیمتر هزینه ماهانه آن بسیار کم است. بنا بر آخرین خرید، بهای‌هر مترمربع از ورقهای پلی‌کربنات در سال ۱۳۵۸ حدود ۱۰۰ ریال بوده است. بطور تقریبی از هر مترمربع این صفحه پلیمر می‌توان حدود ۱۰۰۰ پولک دایره‌ای با قطر ۲٫۵ سانتیمتر تهیه کرد که هزینه هریک کسری‌از ریال خواهد بود. با استفاده از مواد شیمیایی و غیره شاید هزینه کل ماهانه مواد اولیه عملیات آزمایشگاهی هر دزیمتر کمتر از ۱۰ ریال در ماه باشد. نظر به رشد سریع کارکنان با نوترون در اطراف چشمه‌های ایزوتوپی نوترون، شتابدهنده‌ها، راکتورها، و غیره، هزینه ماهانه استفاده از هر دزیمتر از نظر اقتصادی حایز اهمیت بسزاست.

با توجه به اینکه اصولا" سرویسهای دزیمتری فردی از طریق پست برای مشترکین ارسال می‌گردد، دزیمتر پلی‌کربنات که جزء ثبات و اصلی دزیمتر "نوترایران" است می‌تواند باسهولت از طریق پست ارسال و در محل توسط مسئول فیزیک بهداشت موسسه مربوطه تعویض گردد و به دلیل ارزانی آن در صورت گم شدن، زیان قابل ملاحظه‌ای را ببار نخواهد آورد.

لازم به یادآوری است که چون جزء ثبات این دزیمتر پلی‌کربنات است وپس از خورش الکروشیمی ردپاهای ثبت شده قابلیت محو شدن حتی تا نقطه نرمش دزیمتر را ندارند و از نظر حجم‌فضای‌کمی‌را اشغال می‌کند لذا دزیمترهای خوانده شده را می‌توان در پرونده کارکنان مثل دزیمتری فیلم نیز، جهت رسیدگی به اعتراضات و شکایتهای بعدی نگهداری و در صورت نیاز

مجددا" آنرا اندازه‌گیری کرد . علاوه بر آن دزیمترهایی نظیر دزیمتر آلبدو کد براساس استفاده از پدیده ترمولومینسانس کارمی‌کنند فقط می‌توانند برای یکبار خوانده شوند و خواندن مجدد آن امکان پذیر نیست . ولی این دزیمتر پلی‌کربنات را می‌توان هر چند بار که نیاز باشد شمارش و دزیمتری کرد .

۴ـ نتیجه‌گیری

از یافته‌های مذکور در این مقاله و یافته‌های گذشته بااین‌روش دزیمتری می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دزیمتر "نوترایران" بر دو پدیده دزیمتری استوار است : نخست دزیمتری نوترونهای مستقیما" تابیده به بدن از طریق شمارش ردپای هسته‌های برگشته در اثر برخورد نوترونها با اتمهای پلیمر پلی‌کربنات با انرژی ثبت آستانه حدود MeV ۱ ≃ و دوم دزیمتری نوترونهای تابیده شده به بدن از طریق شمارش ردپای ذرات آلفا در پلی‌کربنات ناشی از فعل وانفعال نوترونهای حرارتی آلبدو با اتم Li^{6} بشرط آنکه‌ردپاهاباروش‌خورش‌الکتروشیمی‌ظاهرشده‌باشند . ترکیب این دو پدیده ، دزیمتر فردی آلبدو نوترونی را ارائه می‌دهد که نه تنها نارسائیهای هر یک از دو پدیده را در برنداشته بلکه دارای مزایای زیادی نسبت به سایردزیمترهای‌فردی‌نوترون موجود است که بشرح زیر خلاصه می‌گردد :

۱ ــ به نوترونها در دامنه طویلی از دز نوترون که پوشاننده شرایط پرتوگیریهای عادی واضطراری است حساس می‌باشد .

۲ ــ به نوترونها در دامنه طویلی از انرژی از نوترونهای حرارتی‌تاانرژیهای‌زیادحساس‌می‌باشد ، در صورتیکه سایر دزیمترهای فردی موجود نمی‌توانند در این دامنه از انرژی حساس باشند .

۳ ــ منحنی مشخصه حساسیت بر حسب انرژی نوترون این دزیمتر در ناحیه‌های اشاره شده‌درمتن مقاله دارای تغییرات متناسب با منحنی تغییرات ضریب تبدیل دز معادل بر حسب انرژی‌نوترون توصیه شده توسط کمیسیون بین المللی حفاظت‌دربرابرپرتوها(ICRP) است .

۴ ــ دزیمتر نسبت به گرما ، سرما ، فشار و رطوبت غیر حساس بوده و در شرایط کار نامناسب حتی تا رطوبت‌های نسبی بالا نیز در نگهداری ردپای ثبت شده با ثبات است .

۵ ــ به پرتوهای با انتقال خطی انرژی (LET)کم ،نظیر پرتوهای ایکس، بتا و گاما حتی در انرژی و دز زیاد که در شتابدهنده‌ها تولید می‌شود ، نیز غیرحساس می‌باشد .

۶ ــ ردپاهای ثبت شده به صورت لکه دایره مانند سیاه با قطر تا حدود ۲۰۰ میکرون می‌باشند بطوریکه ردپاها را می‌توان با چشم غیر مسلح ، با پروژکتور ، روی صفحه میکروفیش و زیر میکرسکپ و غیره با سرعت مشخص و شماره کرد .

۷ ــ پلیمر پلی‌کربنات که جزء اصلی دزیمتر است دارای محتوی اتمی نظیر بافت یعنی دارای هیدرژن ، کربن و اکسیژن می‌باشد .

۸ ــ پلی‌کربنات پلیمری سخت ، معمولا" همگن ، با جاذبه رطوبت کم بوده‌و ورقه‌های‌باضخامتهای مختلف از آن بطور تجاری با قیمت ارزان قابل تهیه است بطوریکه قیمت هر پولک دزیمتر فوق‌العاده ناچیز است .

۹ ــ دزیمتر پلی‌کربنات بر اساس خورش ردپای هسته‌های برگشته و ذرات آلفا ست که در پلیمر و همچنین از طریق پولک LiF^{6} بوجود می‌آید استوار است . در نتیجه نیاز به پولک‌های مواد قابل شکافت مثل دزیمتر Np^{237} و یا Th^{232} ندارد .

۱۰ ــ این روش دزیمتری نظر به غیرحساس بودن آن به نورمرئی نیاز به عملیات آزمایشگاهی در تاریکخانه جهت ظهور و ثبوت نظیر فیلمهای NTA ندارد .

۱۱ ـ دزیمتر پلی‌کربنات ارزان ، کم حجم و ارسال آن با سرویسهای پستی آسان است .
۱۲ ـ دزیمتر پلی‌کربنات نه تنها برای امور دزیمتری فردی نوترون مورد استفاده است بلکه در زمینه‌های مختلف کاربردی و پژوهشی نیز دارای کاربرد زیادی است .

این روش دزیمتری با وجود مزایای فراوان ، دارای نارساییهایی مثل وجود شمارش ردپای زمینه در پولکهای پرتو ندیده پس از خورش الکتروشیمی است که می‌تواند دقت دزیمتری را در دزهای پایین کم نماید . لذا قبل از کاربرد وسیع آن لازم است شمارش ردپای زمینه‌کاهش یابد . ضمنا" نظر به‌اینکه پارامترهای این دزیمتر در این مطالعه بطور مقدماتی بررسی شده است لازمست حساسیت این دزیمتر از نظر عملکرد آن در انرژیهای مختلف و پارامترهای دیگر تابعه مورد بررسی جامعتری قرار گیرد تا بتوان آنرا در میدانهای نوترونی با اسپکتر نامشخص‌بکاربرد . لازم به تذکر است که طرح دزیمتر داده شده یک طرح مقدماتی و تجربی است و جهت کاربرد وسیع آن طرح جامعتری با اجزاء اضافی برای دزیمتری گاما نیز زیر بررسی است که نتایج‌حاصله از آن بیاری خداوند در آینده طی گزارشی ارائه خواهد شد .

References

1. L. L. Rossi, "A Proposal for the Revision of the Quality Factor," Rad. and Environmental Biophysics 14, 275(1977).

2. H. H. Rossi and C. W. Mays, "Leukemia Risk from Neutrons", Health Phys. 34, 353 (1978).

3. M. Sohrabi and K. Z. Morgan. "A New Polycarbonate Fast Neutron Personnel Dosimeter," Am. Ind. Hyg. Assoo. J. 39, 438 (1978).

4. K. Z. Morgan, "The Responsibilities of Health Physicists," Scientific Monthly 62, 93 (1946).

5. J. S. Cheka, "Recent Developments in Film Monitoring of Fast Neutrons", Nucleonics, 15, 40 (1954).

6. R. M. Walker, P. B. Price and R. L. Fleischer, "A Versatile Disposable Dosimeter for Slow and Fast Neutrons," Appl. Phys. Letters 3, 28 (1963).

7. S. Pretre, E. Tochilin and N. Goldstein, "A Standard Method for Making Neutron Fluence Measurements by Fission Fragment Tracks in Plastics. "A Suggestion for an Emergency Dosimeter with Rad Response," Proceed. First Int. Cong. IRPA, Rome 1966, Part I, P. 491, Pergamon Press (1968).

8. K. Becker, "Solid State Dosimetry," CRC Press (1973).

9. R. L. Fleischer, P. B. Price, R. M. Walker "Nuclear Tracks in Solids," University of California Press (1975).

10. M. Sohrabi, "Neutron Dosimetry in Reactor Accidents and Design of Accidental Dosimetry Stations for the Tehran University 5 MW Research Reactor," M. Sc. Thesis, TUNC (1969).

11. W.G. Cross and L. Tommasino, "Electrical Detection of Fission Fragment Tracks for Fast Neutron Dosimetry," Health Phys. 15, 196 (1968).

12. W.G. Cross and L. Tommasino, "Rapid Reading Technique for Nuclear Particle Damage Tracks in Thin Foils," Radiat. Eff. 5, 85 (1970).

13. M. Sohrabi and K. Becker, "Fast Neutron Personnel Monitoring by Fission Fragment Registration from Neptunium-237," Nucl Instrum. and Methods 104, 409 (1972).

14. M. Sohrabi "Some Studies on the Application of Track Etching in Fast Neutron Personnel Dosimetry," M. Sc. Thesis, University of Tennessee, Knoxville, (1971); see also Report ORNL-TM-3605, Oak Ridge National Laboratory (1971).

15 W. G. Cross and H. Irg, "The Use of Np-237 in Personnel Dosimeters for Fast Neutrons," Health Phys. 28, 511(1975).

16.K. G. Harrison and I. B. Hancock, "A Neptunium Dosimeter and Spark Counting system for Routine Personnel Monitoring, "Harwell Report AERE-R 8951 (1978).

17.L. Tommasino, "Electrical Etching of Damage Track Detectors by H. V. Pulse and Sinusoidal Waveforms," Proc. 7th Int. Coll. Corpuscular Photog. Solid Detectors, Barcelona(1970).

18. M. Sohrabi, "The Amplification of Recoil Particle Tracks in Polymers and its Application in Fast Neutron Personnel Dosimetry," Health Physics 27, 598 (1974).

19. M. Sohrabi, "Electrochemical Etching of low-LET Recoil Particle Tracks in Polymers for Fast Neutron Dosimetry," Ph. D. Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta (1975).

20. J. R. Harvey, W. H. R. Hudd and S. Towsend, "A Personnel Dosimeter Which Measures Dose From Thermal and Intermediate Energy Neutrons and From Gamma and Beta Radiation" BNL Report No. RD/B/N-1547, Berkeley, Berkeley Nuclear Laboratories Research and Development Department, Gloucestershire, England (1969).

21. D. E. Hankins, "Design of Albedo Neutron Dosimeters," Proc. Symp. on Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes," IAEA-SM-167/62, Vol. 2, Vienna (1972).

22. J. E. Hoy,"An Albedo-Type Personnel Neutron Dosimeter," Health Physics 23, 385 (1972).

23. E. Piesch and B. Burghartt, "A LiF Albedo Neutron Dosimeter for Personnel Monitoring in Mixed Radiation Fields," 4th Int. Conf. on Luminescence Dosimetry, Institute of Nuclear Physics, Krakow, Poland (1972).

24. M. Sohrabi, "A New Dual Response Albedo Neutron Personnel Dosimeter," Nucl. Instrum. and Methods 165, 135 (1979).

25. M. Sohrabi, "the Review of Recent Developments in in Personnel Neutron Dosimeters," Health Physics, under Press (1981).

26. M. Sohrabi and E. Khajeian, "Some Electrochemical Etching Studies on the Registration of Alpha Particle Tracks in Polycarbonate," Nucl. Instrum. and Methods, under Press (1981). see also Proc. 6th Int. Cong. Rad. Research, Abst. No. C-16-6, Tokyo, Japan, 198 (1979). or paper/121, 24th Ann. Meet. Health Physics Society, Phil. Pa. 33 (1979).

27. M. Sohrabi, "Some data on Neutron Dosimetry Research and

Development at the Atomic Energy Organization of Iran. 7th DOE Workshop on Personnel Neutron Dosimetry, PNL-2807 UC-48, Pacific Northwest Lab. Richland, Washington 82 (1978).

28. M. Sohrabi, "Electrochemical Etching of Fast-Neutron-Recoil Tracks: The Effects of Field Strength and Frequency," J. Nuclear Tracks, 4 131 (1981).

29. M. Sohrabi and K. M. Shirazi, "Further Studies on Amplification Characteristics of Charged Particle Tracks in Polycarbonate using Different Etchants," 2nd Asian Reg. Cong. Rad. Protection, IRPA, Manila, Philippines (1979).

30. ICRP. Publ. 21, Suppl. to Publ. 15, Pergamon Press, Oxford (1971).

31. R. G. Alsmiller, J. R. and J. Barish, "The calculated Response of ^{6}LiF Albedo Dosimeters to Neutrons with Energies 400 MeV," Health Physics 26, 13 (1974).

32. R. V. Griffith, J. C. Fisher and C. A. Harder, "LLL Development of a combined etc-track-albedo dosimeter," 6th ERDA Workshop on Personnel Neutron Dosimetry, PNL-2449/UC-48, Pacific Northwest Lab, Richland, Washington, 71 (1978).

33. F. Spurny and K. Turek, "High Energy Neutron Detection with Polymer Nuclear Track Detectors," Nucl. Track Detection 2 (4), 221 (1978).

34. M. Sohrabi and K. Z. Morgan, "Neutron Dosimetry in High Energy X-Ray Beams from Medical Accelerators, Phys. Med. Biology 24, 756 (1979).

Abstract

The design of a new albedo neutron personnel dosimeter called "Neutriran" based on dual response measurements of neutrons directed towards the body and albedo neutrons leaving the body is given. The dosimeter consists of a polycarbonate foil in contact with a lithium fluoride-Teflon(^{6}LiF) disc under a cadmium foil placed in a Plexiglass badge. The dosimeter when placed on the body with the ^{6}LiF disc facing it can detect both neutrons directly impinged on the body by detection of fast-neutron-induced recoil tracks, and also albedo neutrons by detecting the albedo-neutron-induced alpha tracks in a single polycarbonate foil after the tracks are enlarged by the electrochemical etching method. Therefore, the dosimeter is sensitive to neutrons from thermal energies up to very high energies, e.g. 600 MeV or higher, which is one of the fundamental advantages of this dosimeter. The characteristics parameters of this dosimeter such as sensitivity to neutrons and dose range, neutron energy dependence, insensitivity to low-LET radiation, track fading, etc. have been preliminarily investigated. Based on the results of this investigation, it can be concluded that the "Neutriran" albedo neutron personnel dosimeter has a number of advantages over other existing neutron personnel dosimeters. However, some basic problems need to be solved such as the background track density before it can be used for large-scale neutron personnel dosimetry.