

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

موضوع

ساخت قرص TLD کلسیم فلوراید (CaF_2) در اندازه‌های مختلف به منظور اندازه‌گیری دز پرتوهای

ایکس و گاما

نگارنده

فاطمه نقدی

اساتید راهنما

دکتر حسین توکلی عنبران

دکتر فاطمه مصدرالامور

استاد مشاور

خانم سمیه جهانفر

مهر ۱۳۹۹

شماره:
تاریخ:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

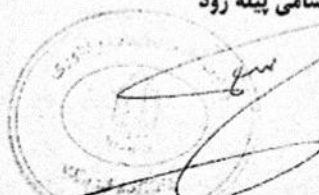
با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / فاطمه نقدی با شماره دانشجویی ۹۷۱۶۶۳۴ رشته فیزیک گرایش هسته ای
تحت عنوان: ساخت قرص TLD کلسیم فلوراید (CaF_2) در اندازه های مختلف به منظور اندازه گیری دز پرتو های ایکس و گاما
که در تاریخ ۱۳۹۹/۰۷/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☒ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷ ☒
ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵-۱۴ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☒

اعضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر حسین توکلی عنبران	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	دکتر فاطمه مصدر المور	۲- استاد راهنمای دوم
	مربی	خانم سمیه جهان پور	۳- استاد مشاور
	استاد	دکتر حسن حسن آبادی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر مسلم سوهانی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر احسان ابراهیمی	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر سعید حسامی پیله رود

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تشکر و قدردانی

حمد و سپاسی بی حد خدای را که توفیق کسب علم و معرفت را به ما عنایت فرمود. در اینجا بر خود لازم تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری کرده اند، تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر حسین توکلی عنبران که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده اند. کمال تشکر و سپاس گذاری را دارم.

از سرکار خانم دکتر فائزه عباس پور کارشناس آزمایشگاه دانشگاه علوم پزشکی مشهد (دانشکده داروسازی) که تجهیزات لازم را برای ساخت قرص در اختیار بنده قرار دادند و از راهنمایی ایشان استفاده نمودم، سپاس گذارم.

از سرکار خانم دکتر فاطمه مصدر الامور و سرکار خانم سمیه جهانفر که از راهنمایی و مشاوره آن ها در طول انجام تحقیق بهره بردم کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر مسلم سوهانی و جناب آقای دکتر احسان ابراهیمی که به عنوان اساتید داور این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده اند، تشکر می نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر حسن حسن آبادی که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده اند سپاس گذاری می نمایم.

به نشانه سپاسی ژرف و خالصانه تقدیم به:

پدر عزیزم

آن که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر،
توانش رفت تا به توانایی برسم و مویش سپید گشت تا رویم سپید بماند.

پیشکش دستان پر مهر و محبت

مادر مهربانم

که لحظه لحظه زندگی اش برایم همه درس است،
و عطر یاس دعاهايش اعتبار زیستن

تهدیه نامه

اینجانب فاطمه نقدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته ای دانشکده فیزیک و مهندسی هسته ای دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ساخت قرص TLD کلسیم فلوراید (CaF_2) در اندازه های مختلف به منظور اندازه گیری دز پرتوهای ایکس تحت راهنمایی دکتر حسین توکلی عنبران متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

پیشرفت هر روزه در زمینه‌ی فناوری‌های هسته‌ای و کاربرد ویژه پرتوها و پدیده گرمالیانی^۱ در دزیمتری باعث شده است که مواد TLD (دزسنج گرمالیانی) جدید و ارزان قیمت با حساسیت بالا در برابر پرتوهای یون‌ساز ساخته شود. در طبیعت مواد زیادی وجود دارند که خاصیت نوردی در اثر گرما دارند. کلسیم فلوراید جز این دسته مواد می‌باشد. ماده‌ی گرمالیانی کلسیم فلوراید به صورت خالص در طبیعت وجود دارد. در این مطالعه پودر کلسیم فلوراید که از شرکت مرک تهیه شده را با استفاده از قالب‌ها و دستگاه پرس دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد، به صورت قرص‌هایی، با ابعاد ۸، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر با ضخامت‌های ۱، ۳ و ۱، ۵ میلی‌متر ساخته شد. برای استحکام قرص‌ها، دمای آنها را با آهنگ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ از دمای محیط تا دمای 100°C درجه سانتی‌گراد بالا بردیم. سپس به مدت ۴ ساعت در دمای 100°C درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد و پس از آن با همان آهنگ قبلی به دمای 400°C درجه سانتی‌گراد رسید و به مدت یک ساعت در دمای ثابت 400°C درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. پس از ساخت قرص‌ها و استحکام سازی آن‌ها برای اندازه‌گیری حساسیت، به شرکت سینا پرتو جم ارسال شد و کلیه قرص‌ها با چشمه سزیم 137 تحت تابش استاندارد 10 mSv قرار گرفت. بعد از پرتودهی با قراردادن قرص‌ها در دستگاه قرائت‌گر TLD میزان بارکل جمع شده در خروجی PMT (برحسب nC) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از داده‌های به دست آمده ضریب حساسیت و ضریب کالیبراسیون برای قرص‌های متفاوت با ابعاد فوق محاسبه گردید.

کلمات کلیدی

دزیمتر، گرمالیانی، کلسیم فلوراید، ضریب حساسیت، منحنی تابش، ضریب کالیبراسیون، محوشدگی

^۱Thermoluminescent

فهرست مطالب

فصل ۱. کلیات پژوهش.....	۱.....
۱-۱ تاریخچه	۲.....
۲-۱ اهمیت اجرای پروژه	۳.....
فصل ۲. مبانی نظری پژوهش.....	۵.....
۱-۲ تعاریف اولیه	۶.....
۲-۲ روش‌های دزیمتری.....	۷.....
۱-۲-۲ اتاقک یونیزاسیون.....	۷.....
۲-۲-۲ آشکار ساز نیمه رسانا	۸.....
۳-۲-۲ فیلم رادیو گراف.....	۹.....
۳-۲ دزیمتری فردی	۹.....
۱-۳-۲ فیلم بج (FB).....	۱۰.....
۲-۳-۲ دزیمتر جیبی یا قلمی.....	۱۰.....
۳-۳-۲ دزیمتر گرمالیانی (TLD)	۱۱.....
۴-۲ دزیمتری محیطی	۱۳.....
۵-۲ تاریخچه گرمالیانی	۱۴.....
۶-۲ فیزیک گرمالیانی	۱۵.....
۷-۲ نکات مهم در ایجاد گرمالیانی.....	۱۸.....
۸-۲ کاربردهای گرمالیانی	۱۹.....
۹-۲ ویژگی‌های ماده گرمالیانی.....	۲۰.....
۱-۹-۲ پاسخ دز	۲۰.....
۲-۹-۲ انرژی ذخیره شده	۲۱.....

۲۱.....	۳-۹-۲ محوشدگی
۲۳.....	۴-۹-۲ پاسخ انرژی
۲۳.....	۵-۹-۲ منحنی درخشندگی
۲۵.....	۶-۹-۲ نور محیط
۲۵.....	۷-۹-۲ بازپخت
۲۷.....	۸-۹-۲ تکرار پذیری
۲۷.....	۹-۹-۲ حساسیت
۲۸.....	۱۰-۹-۲ دز زمینه
۲۸.....	۱۱-۹-۲ اثرات دیگر
۲۸.....	۱۰-۲ شکل ماده TLD
۲۹.....	۱۱-۲ ویژگی های مواد گرمالیانی
۳۰.....	فصل ۳. ویژگی های کلسیم فلوراید
۳۱.....	۱-۳ ساختار کلسیم فلوراید
۳۳.....	۲-۳ نقص های شبکه بلور
۳۳.....	۱-۲-۳ نقص های شبکه
۳۸.....	۳-۳ بررسی نواقص شبکه بلور کلسیم فلوراید
۳۸.....	۴-۳ دزیمتر کلسیم فلوراید
۳۹.....	۵-۳ کاربرد کلسیم فلوراید
۴۰.....	۶-۳ خطرات کلسیم فلوراید
۴۱.....	فصل ۴. مرحله ساخت دزیمتر گرمالیانی کلسیم فلوراید
۴۲.....	۱-۴ مرحله ساخت
۴۲.....	۱-۱-۴ ساخت قرص

- ۴-۱-۲ تجهیزات و وسایل مورد نیاز جهت ساخت قرص ۴۳
- ۴-۲ پرتودهی TLD با چشمه سزیم استاندارد و سنجش دز جذبی ۴۷
- ۴-۳ تجهیزات و وسایل لازم برای مطالعه گرمایی ناشی از چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷ ۴۸
- ۴-۳-۱ چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷ ۴۸
- ۴-۴ نتایج پرتودهی قرص های ساخته شده با چشمه استاندارد سزیم ۵۶
- ۴-۴-۱ تعیین ضریب حساسیت ۶۰
- ۴-۴-۲ تعیین ضریب کالیبراسیون ۶۴
- ۴-۵ نتیجه گیری ۷۱

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲ دزیمتر فردی ۹
- شکل ۲-۲ دزیمتر جیبی ۱۱
- شکل ۳-۲ طرحواره سطح انرژی یک ماده ۱۲
- شکل ۴-۲ گیر افتادن حامل ها بر اثر تاش ۱۳
- شکل ۵-۲ دزیمتر محیطی ۱۴
- شکل ۶-۲ گذار در پدیده فسفرسانس و فلوئورسانس ۱۶
- شکل ۷-۲ طرح کلی فرآیند گرمایی ۱۸
- شکل ۸-۲ منحنی پاسخ برای ۱۰۰-TLD ۲۲
- شکل ۹-۲ منحنی درخشندگی چند قله ۲۴
- شکل ۱-۳ ساختار سلول کلسیم فلوراید ۳۱
- شکل ۲-۳ حفره‌ی در تله افتاده بین دو آنیون ۳۴
- شکل ۳-۳ نمایش یک مرکز F در شبکه قلیایی ۳۵
- شکل ۴-۳ نمایش مرکز H ۳۶
- شکل ۵-۳ الف) تجمع مراکز F و ب) سه مرکز در کنار هم و تشکیل مرکز R ۳۶
- شکل ۶-۳ نقصل فرنکل در شبکه نقره ۳۷
- شکل ۷-۳ نقص شائکی در بلور سدیم کلرید ۳۸
- شکل ۱-۴ قرص کلسیم فلوراید ساخته شده در این پژوهش ۴۲
- شکل ۲-۴ پودر کلسیم فلوراید ۴۳
- شکل ۳-۴ الف) نمای کلی از قالب های قرص استفاده شده در این پژوهش در ۴۵
- شکل ۴-۴ ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰,۰۱ گرم در آزمایشگاه دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود ۴۵
- شکل ۵-۴ دستگاه پرس در دانشکده علوم پزشکی مشهد ۴۶
- شکل ۶-۴ کوره مورد استفاده شده در این پژوهش ۴۶
- شکل ۷-۴ نمودار دمای کوره ۴۷
- شکل ۸-۴ بوته چینی ۴۷
- شکل ۹-۴ قرص ها بعد از پرتو دهی با سزیم استاندارد ۱۳۷ ۴۸

- شکل ۴-۱۰ تجهیزات قرائت گر TLD برای ثبت نورهای گسیلی ۵۰
- شکل ۴-۱۱ اجزا گرم کن در حالت کشو باز ۵۱
- شکل ۴-۱۲ اجزا گرم کننده TLD در حالت کشو بسته ۵۲
- شکل ۴-۱۳ سیستم تکثیرکننده نوری ۵۲
- شکل ۴-۱۴ سیستم کلی قرائت گر TLD ۵۴
- شکل ۴-۱۵ دستگاه قرائت گر TLD ۵۴
- شکل ۴-۱۶ قرص ها بعد از خوانش در دستگاه قرائت گر TLD جهت اندازه گیری ۵۵
- شکل ۴-۱۷ بارکل جمع شده در خروجی PMT برحسب دمای قرص کلسیم فلوراید ۵۹
- شکل ۴-۱۸ نمودار ضریب حساسیت برحسب قطر برای قرص های با قطر ۶، ۸ و ۱۰ و ضخامت ۳ میلی متر ۶۳
- شکل ۴-۱۹ نمودار ضریب حساسیت برحسب قطر برای قرص های با قطر ۸ و ۱۰ و ضخامت ۱،۵ میلی متر ۶۳
- شکل ۴-۲۰ نمودار میانگین ضریب حساسیت برحسب قطر برای قرص های با قطر ۶، ۸ و ۱۰ و ضخامت ۳ میلی متر ۶۳
- شکل ۴-۲۱ نمودار میانگین ضریب حساسیت برحسب قطر برای قرص های با قطر ۸ و ۱۰ میلی متر و ضخامت ۱،۵ میلی متر ۶۴
- شکل ۴-۲۲ نمودار ضریب کالیبراسیون برحسب قطر برای قرص های با قطر ۸ و ۱۰ با ضخامت ۱،۵ میلی متر ۶۸
- شکل ۴-۲۳ نمودار ضریب کالیبراسیون برحسب قطر برای قرص های با قطر ۸، ۶ و ۱۰ با ضخامت ۳ میلی متر ۶۹
- شکل ۴-۲۴ نمودار میانگین ضریب کالیبراسیون برحسب قطر برای قرص های با قطر ۸ و ۱۰ با ضخامت ۱،۵ میلی متر ۶۹
- شکل ۴-۲۵ نمودار میانگین ضریب کالیبراسیون برحسب قطر برای قرص های با قطر ۶، ۸ و ۱۰ با ضخامت ۳ میلی متر ۷۰

فهرست جداول

جدول ۱-۳ خصوصیات کلسیم فلوراید	۳۲
جدول ۲-۳ ساختار کلسیم فلوراید	۳۲
جدول ۱-۴ مشخصات تجاری پودر کلسیم فلوراید.....	۴۴
جدول ۲-۴ وزن قرص‌های کلسیم فلوراید ساخته شده در این پژوهش.....	۵۶
جدول ۳-۴ بارکل جمع شده در خروجی PMT برحسب واحد (nC)	۵۷
جدول ۴-۴ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۸ و ضخامت ۱,۵ میلی متر	۶۱
جدول ۵-۴ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۱,۵ میلی متر	۶۱
جدول ۴-۶ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۳ میلی‌متر.....	۶۶
جدول ۴-۷ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۸ و ضخامت ۳ میلی متر	۶۱
جدول ۴-۸ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۱ میلی‌متر	۶۲
جدول ۴-۹ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۳ میلی‌متر.....	۶۲
جدول ۴-۱۰ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۸ و ضخامت ۱,۵ میلی‌متر.....	۶۵
جدول ۴-۱۱ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۱,۵ میلی‌متر.....	۶۵
جدول ۴-۱۲ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۳ میلی‌متر	۶۶
جدول ۴-۱۳ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید قطر ۸ و ضخامت ۳ میلی‌متر	۶۶
جدول ۴-۱۴ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۱ میلی‌متر	۶۷
جدول ۴-۱۵ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۳ میلی‌متر	۶۷
جدول ۴-۱۶ میانگین ضریب کالیبراسیون برای هر گروه از قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید	۶۸

فصل ۱. کلیات پژوهش

۱-۱- تاریخچه

از زمان‌های گذشته گسیل نور برای مردم پدیده جالبی بوده است. در قرن ۱۷ دانشمندانی هم چون جان^۱، سیگموند^۲ و الشولتز^۳ در تاریکی آزمایش‌های زیادی بر روی ویژگی‌های درخشندگی مواد نورزا انجام دادند. در قرن ۱۸ دوفین^۴ در اولین بررسی‌های خود در زمینه پدیده گرمالیانی^۵ گفت، درخشش حاصل از مواد با سوختن مواد ارتباط دارد. در قرن ۱۹ هنریچ^۶ بیان کرد اگر تمام مواد تحت حرارت قرار گیرند می‌توانند از خودشان نور گسیل کنند [۱۳]. در قرن ۱۹ ویدمن^۷ و اشمیت^۸ در مطالعات علمی خود ویژگی‌های مواد گرمالیانی را مورد بررسی قرار دادند. فارینگتون^۹ دنیلز^{۱۰} برای نخستین بار طرح استفاده از مواد گرمالیان در دُرسنجی تابشی را بیان کرد، از این طرح متوجه شد موادی که پرتو به آن‌ها ساطع می‌شد حامل انرژی هستند، که با دادن گرما این انرژی آزاد می‌شود. در سال ۱۶۶۳ رابرت بویل در حین گرم کردن الماس متوجه شد الماس از خودش نور ساطع می‌کند. در سال ۱۸۸۳ هانری بکرل^{۱۱} اثر گرمالیانی و طیف مادون قرمز را بیان کرد [۶]. ماری کوری^{۱۲} در سال ۱۹۰۴ در مورد پدیده گرمالیانی (CaF_2) طبیعی که با پرتوی رادیوم پرتو دهی شده مطالعاتی انجام داد [۴]. در سال ۱۹۳۵ لین^{۱۳} برای آشکارسازی پرتوهای فرابنفش از ماده کلسیم سولفات $\text{CaSO}_4(\text{Mn})$ استفاده کرد. در ابتدا از فیلم‌های

^۱John

^۲Sigmund

^۳Alshultz

^۴Duffin

^۵Thermoluminescent

^۶Henrich

^۷Wideman

^۸Schmidt

^۹Farrington Daniels

^{۱۰}Henry Becquerel

^{۱۱}Mari Curie

^{۱۲}Lin

عکاسی برای دزیمتری استفاده می‌شد. پس از آن نخستین بار در سال ۱۹۵۰ از پدیده گرمالیانی در دزیمتری استفاده شد. در سال ۱۹۵۰ فارینگون دنیلز از لیتیم فلوراید برای اندازه‌گیری تابش استفاده کرد و با بررسی‌های بیشتر در گروه‌های گرمالیانی کلسیم فلوراید (CaF_2)، لیتیوم بورت ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$)، کشف کرد. رونتگن^۱ و یک‌آطی بررسی‌هایشان متوجه شدند موادی که در زمان بیشتری در اطراف پرتو ایکس قرار دارند شدت گرمالیانی در آن‌ها بسیار زیاد است [۱۵]. وایدمن و همکارانش در سال ۱۸۹۵ نخستین کسانی بودند که پیرامون پدیده گرمالیانی، آزمایشاتی بر روی اهمیت نقش فعال‌سازها انجام دادند. همچنین در تحقیقات آن‌ها تعداد زیادی از مواد و فعال‌سازها را بررسی کردند و دریافتند که بیشترین حساسیت را کلسیم فلوراید با ناخالصی منگنز و کلسیم فلوراید طبیعی دارند. همچنین در سال ۱۹۲۵ کانی‌های طبیعی، مثل فلورید و بلورهای گرمالیانی را مورد بررسی قرار دادند. در سال ۱۹۶۰ کاربرد استفاده از دزیمترها به سرعت افزایش یافت و در حال حاضر استفاده از دزیمترها به عنوان، ابزارهای دزیمتری بسیار دقیق در بسیاری از کشورها قابل استفاده می‌باشد [۱۱ و ۱۲].

۲-۱- اهمیت اجرای پروژه

امروزه علم دزیمتری یکی از اصلی‌ترین ارکان فیزیک بهداشت و فیزیک پزشکی می‌باشد که در پرتودرمانی، تشخیص پرتوشناسی، رادیولوژی، پزشکی هسته‌ای، سی‌تی‌اسکن، دزیمتری‌های فردی و محیطی و..... کاربرد فراوانی دارد. ساخت قرص کلسیم فلوراید هزینه بسیار کمی در دزیمتری پرتوهای ایکس و گاما دارد. به همین دلیل است که کاربرد آن‌ها باعث صرفه‌جویی ارزی در کشور می‌شود. دزیمترهای گرمالیانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در این قسمت به آن می‌پردازیم.

۱- مطالعه پدیده گرمالیانی و مکانسیم آن در کلسیم فلوراید

۲- تعیین پارامترهای دزیمتری این دزیمترها

^۱Roentgen

^۲Wick

۳- انتخاب بهترین ویژگی‌های دزیمتر گرمالیانی

۴- وجود مواد گرمازا تقریباً معادل بافت

۵- حساسیت و دقت کافی برای نظارت شخصی و محیطی

۶- در دسترس بودن به عنوان آشکارسازهای جامد با اندازه کوچک قابل تنظیم برای پردازش دستی و اتوماتیک.

۷- در دسترس بودن مواد با طول عمر عالی در شرایط مختلف محیطی

۸- قابلیت استفاده مجدد

۹- خطی بودن پاسخ با دز و میزان دز در طیف وسیعی از انرژی

هدف اصلی ما در این پروژه ساخت ماده کلسیم فلوراید خالص با اندازه‌های مختلف به عنوان دزیمتر گرمالیانی است. ماده کلسیم فلوراید خالص از شرکت مرک تهیه شده است. برای ساخت این دزیمتر از ماده کلسیم فلوراید به صورت پودر استفاده شد. بعد از تهیه پودر برای ساخت قرص‌ها و استفاده از دستگاه پرس به دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد مراجعه شد. قرص‌ها را با ضخامت‌های ۱،۵، ۱ و ۳ میلی‌متر و قطر ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر ساخته شد. سپس قرص‌ها با چشمه سزیم ۱۳۷ پرتودهی شد و توسط دستگاه قرائت گر TLD میزان دز شمارش شده به دست آمد. در مرحله آخر ضریب حساسیت، ضریب کالیبراسیون برای هر گروه محاسبه شد. با استفاده از مقادیر به دست آمده (ضریب کالیبراسیون) این امکان فراهم می‌شود تا اگر دزی به قرص‌های یک گروه داده شود و میزان دز آن برای ما مشخص نباشد را محاسبه کرد.

فصل ۲. مبانی نظری پژوهش

۱-۲- تعاریف اولیه

دز جذب شده^۱:

یکای اصلی دز تابشی برحسب انرژی جذب شده دریکای جرم ماده بیان می شود. دز جذب شده را با نماد (D)

(D) نشان می دهند. واحد دز در دستگاه SI، گری^۲ (Gy) است که برابر با یک ژول برکیلوگرم است

$$Gy = 1J/1kg \quad (1-2)$$

قبل از اینکه از یکاهای SI استفاده شود از یکای راد^۳ استفاده می شد که به صورت زیر تعریف می شود.

[۴].

$$1rad = 100erg/gr \quad (2-2)$$

پرتوگیری^۴:

انسان ها به دو صورت می توانند از محیط اطراف پرتو بگیرند ۱- پرتوگیری خارجی ۲- پرتوگیری داخلی اگر رادیو ایزوتوپ ها از طریق راه های تنفس، آشامیدن، خوردن، تزریق و یا بریدگی پوست وارد بدن شوند و چشمه تابش درون بدن باشد پرتوگیری داخلی و اگر چشمه تابش در خارج بدن باشد پرتوگیری خارجی صورت می گیرد. اگر چشمه تابش داخل بدن باشد بسیار خطرناک است. لباس یا پوست نمی تواند، تابش را ضعیف کند و تا زمانی که رادیو ایزوتوپ ها کاملاً واپاشیده و یا از بدن دفع نشوند، پرتوگیری ادامه می یابد. اثر تابش را برحسب پرتوگیری یا دز می سنجند. پرتوگیری دز به صورت انرژی جذب شده در واحد جرم ماده تعریف می شود. هرگاه فوتون انرژی بیش تری دریافت کند، پرتوگیری آن ها برحسب وات ثانیه بر مترمربع و آهنگ پرتوگیری برحسب وات بر مترمربع است. تا قبل از دستگاه SI یکای اندازه گیری آن رونتگن بود و آن را با نماد R نشان

^۱Absorbed dose

^۲Gray

^۳Rad

^۴Exposure

می‌دادند. ولی در حال حاضر واحد پرتوگیری کولن بر کیلوگرم هوا (air) c/kg می‌باشد.

دزیومتر:

چون انسان‌ها در زندگی روزمره خود قادر به احساس تابش پرتوهای یونیزان نیستند، به همین دلیل برای آشکارکردن و اندازه‌گیری میزان دزی که به آن‌ها می‌رسد، نیازمند دستگاه‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری می‌باشند. دزیومترها، آشکارسازهایی هستند که میزان انرژی جذب شده به بافت بدن را اندازه‌گیری می‌کنند. انواع مختلف دزیومترها شامل دزسنجی جیبی، فردی، محیطی، فیلم بچ و دزیومترگرمالیانی است که در این پایان به دزیومتر گرمالیانی می‌پردازیم [۴].

۲-۲- روش‌های دزیمتری

هرگاه با استفاده از ابزارهای سنجش میزان انرژی جذب شده‌ی مواد را که در معرض تابش پرتوها قراردارند اندازه‌گیری کنیم، دزیمتری گفته می‌شود. مواد زیادی مانند کلسیم فلوراید دارای این ویژگی هستند، که ماده‌ی گرمالیانی آن در طبیعت قابل مشاهده است. در نهایت این ماده با انجام فرایندهایی به صورت پودر خالص تهیه می‌شود.

دزیمتری در ۱- پرتودرمانی ۲- پرتودهی به مواد مختلف صنعتی و مواد غذایی ۳- حفاظت در برابر پرتوها اهمیت فراوانی دارد.

در هر یک از این موارد میزان دز و دقت کافی برای اندازه‌گیری آن‌ها متفاوت است. مثلاً در مورد پرتودرمانی، رعایت دقت کافی در تعیین دز جذبی ضروری است به دلیل اینکه در پرتودرمانی فاصله بین دقتی که لازم است و بالاترین دقتی که در عمل دسترسی به آن آسان است، بسیار محدود است.

۱-۲-۲- اتاقک یونیزاسیون

اتاقک یونیزاسیون (اتاقک یونیزان) یکی از ابتدایی ترین آشکارسازهای پرتوی است که با گاز پر شده است.

و برای اندازه‌گیری تعداد خاصی از پرتوهای یون‌ساز، ایکس گاما و بتا استفاده می‌شود. پاسخ یکنواخت و مناسب به پرتوها در دامنه وسیعی از انرژی‌ها داده می‌شود و همچنین برای اندازه‌گیری در سطوح بالایی از پرتوگاما استفاده می‌شود که این باعث شده نسبت به سایر آشکارسازها مناسب‌تر باشد. از این نوع آشکارسازها به‌طور فراوان در صنایع هسته‌ای، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، رادیوگرافی، رادیو بیولوژی و مانیتورینگ محیطی استفاده می‌شود. زمانی که از برخورد گازها با پرتوها، تابشی حاصل می‌شود در اتاقک یونیزان این بارها اندازه‌گیری می‌شود. این آشکارساز متشکل از محفظه پر شده از گاز، و دو الکترود به نام‌های آند و کاتد است. هنگامی که دو پتانسیل الکتریکی بین دو الکترود باشد باعث ایجاد میدان الکتریکی می‌شود و زمانی که گاز بین الکترودها با برخورد پرتوی یون‌ساز به آن یونیزه شود، جفت یون‌هایی ایجاد می‌شود و بارهای مثبت و الکترون‌های جدا شده به سمت الکترودهای با قطبیت مخالف در اثر وجود میدان الکتریکی حرکت می‌کنند و در نهایت جریان یونی آن‌ها با مدار الکترومتر اندازه‌گیری می‌شود [۱۰].

۲-۲-۲- آشکارساز نیمه رسانا

در چند سال اخیر برای آشکارسازی پرتوی ایکس و گاما از آشکارسازهای نیمه رسانا که متشکل از مواد ژرمانیوم و سیلیکون که به‌صورت نیمه هادی هستند، استفاده می‌شود. ذرات یوننده مانند، آلفا و بتا با اتم‌های آشکارساز در حجم حساس آن برهم‌کنش و بر اثر یونش الکترون-حفره به وجود می‌آید که مجموعه‌ی این یون‌ها یک تپ خروجی تولید می‌کند که اساس کار این آشکارسازها بسیار به الکترون‌های مازاد و حفره‌ها بستگی دارد. برای تشکیل یک جفت الکترون-حفره یک مقدار انرژی مشخصی لازم است که به انرژی برخوردی وابسته نیست. شدت تابش‌های برخوردی را می‌توان با اندازه‌گیری تعداد جفت الکترون‌ها تعیین کرد. از مزیت‌های این آشکارساز این است که می‌توان در دمای‌های پایین از آن استفاده کرد و همچنین توان تفکیک انرژی بسیار خوبی دارد [۱۰].

۳-۲-۲- فیلم رادیو گراف

فیلم رادیوگرافی متشکل از یک پایه شفاف پلی استر است که روی سطح آن پوششی از امولسیون شامل کریستال‌های ریز نقره قرار دارد. برای مشاهده تغییرات شیمیایی در بلور می‌توان فیلم را در معرض پرتوهای یونیزان قرار داد و در زمان آشکار سازی فیلم بلور به شکل دانه نقره‌ای بسیار ریزی مشاهده می‌شود. درجه رنگ سیاه این‌ها بستگی به دو عامل دارد ۱- به نقره آزاد شده و قرار گرفته بر روی فیلم ۲- مقدار انرژی جذب شده که توسط دستگاه چگالی سنج می‌توان میزان سیاهی را اندازه‌گیری کرد [۲۲].

۳-۲-۳- دزیمتری فردی ۱

برای اندازه‌گیری پرتوگیری خارجی پرتوکاران مورد استفاده قرار می‌گیرد و باید بتواند تمام اطلاعات لازم درمورد پرتوگیری فرد از انواع پرتوها در گستره‌های مختلف انرژی و دزموثر پرتوکار را در شرایط عادی یا غیرعادی کار در مدت معین به دست آورد. هدف دزیمتری فردی تعیین و کنترل پرتوگیری شغلی افراد به منظور رعایت اصل حد دز است. اندازه‌گیری پی‌درپی دزیمتری فردی منجر به دستیابی به اهداف دیگری همچون کنترل شرایط ایمنی محیط کار می‌شود. در صورتی که مانیتورینگ روزانه ضروری باشد می‌توان از دزیمتری‌های قرائت مستقیم به عنوان دزیمتر تکمیلی استفاده کرد.



شکل ۲-۱ دزیمتر فردی [۲۶]

^۱ Personal dosimetry

سه نوع دزیمتری فردی مهم در پرتوشناسی تشخیصی و پزشکی هسته ای با مزایا و معایب خاص خود

عبارت اند از:

۱- فیلم بچ

۲- دزیمتر جیبی یا قلمی

۳- دزیمتر گرمالیانی

۱-۳-۲- فیلم بچ^۱ (FB)

یکی از پرکاربردترین دزیمترها فیلم بچ است که مورد استفاده در پرتوشناسی و پزشکی هسته ای است. این دزیمتر تشکیل شده از یک فیلم کوچک درون پوشش کاغذی که داخل حفاظ پلاستیکی مخصوصی با نام بچ قرار گرفته و روی لباس نصب می شود. چند فیلتر فلزی بر روی فیلم (معمولا سرب، مس و آلومینیوم) با استفاده از نسبت دانسیته نوری فیلم زیر فیلترها، محدوده انرژی پرتو را مشخص می کند و تبدیل دز فیلم به دز بافت را فراهم می کند. این فیلم ها شامل پوشش پلاستیکی است که به طور مستقیم در معرض تابش قرار می گیرد و برای آشکارسازی پرتوهای بتای پر انرژی و متوسط کاربرد دارد. گستره ی اندازه گیری این دزهای بین mR ۱۰ تا ۱۵۰۰۰R پرتوهای گاما و ایکس هستند.

۲-۳-۲- دزیمتر جیبی یا قلمی

به دلیل اینکه دزیمترهای TDL و فیلم بچ، امکان قرائت همزمان آنها نیست می توان از دزیمترهای جیبی، که دز جذبی را به طور همزمان قرائت می کنند استفاده کنیم. ساختار تشکیل شده دزیمتر جیبی شامل یک رشته نازک کوارتز است که روی فریم متصل به الکتروود مثبت، در اتاقک هوا معلق است. در اثر نیروی دافعه کولنی رشته نازک کوارتز از فریم دور می شود و حرکت آن توسط عدسی نوری که بر حسب رونتگن یا میلی سیورت مدرج شده، قابل دیدن است.

زمانی که پرتوهای یون ساز به دزیمتر برخورد می کنند هوای داخل آشکارساز یونیزه می شود و مقداری از بار مثبت هوای اتاقک، خنثی و نیروی دافعه کولنی آن کاهش می یابد و در نهایت رشته کوارتز به فریم نزدیک می شود. این تغییر شکل ایجاد یک حرکت خط نازکی روی صفحه مدرج می کند که قابل دیدن است. این دزیمترها کوچک هستند و به راحتی می توان از آنها استفاده کرد. ولی ممکن است در اثر ضربه دقت و صحت آن کاهش یابد. همچنین این دزیمتر ها قابلیت استفاده مجدد دارند ولی امکان ثبت دائمی دز را ندارند [۲۶].



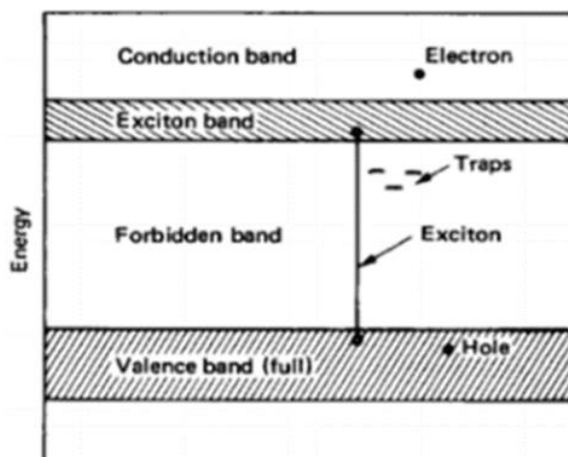
شکل ۲-۲ دزیمتر جیبی

۲-۳-۳- دزیمتر گرمالیانی (TLD)

مواد دزیمتری به دو قسمت مجزا ۱-موادی با حساسیت بالا و عدد اتمی موثر^۱ نزدیک به عدد اتمی موثر استخوان ($Z=14$) ۲- مواد با حساسیت پایین و عدد اتمی موثر نزدیک به عدد اتمی موثر بافت بدن ($Z=7,44$) تقسیم می شوند. اغلب دزیمترها شامل فسفرهای ذخیره ای هستند. هرگاه پرتوی به یک بلور برخورد کند به الکترون انرژی داده می شود که ممکن است دو اتفاق رخ دهد ۱- زمانی که الکترون به اندازه کافی انرژی می گیرند باعث می شود الکترون ها از نوار ظرفیت به نوار رسانش بروند. ۲- ممکن به اندازه کافی انرژی به دست آورد به حالت برانگیخته برود و این باعث می شود یک اکسیتون شامل یک حفره و یک الکترون تشکیل شود که این الکترون ها در بلور در حال حرکت هستند . اتم های خارجی و... به صورت دام هستند که

^۱ مجموع الکترون های فلز به اضافه الکترون های داده شده به وسیله لیگاندها ، عدد اتمی موثر (EAN) نامیده می شود.

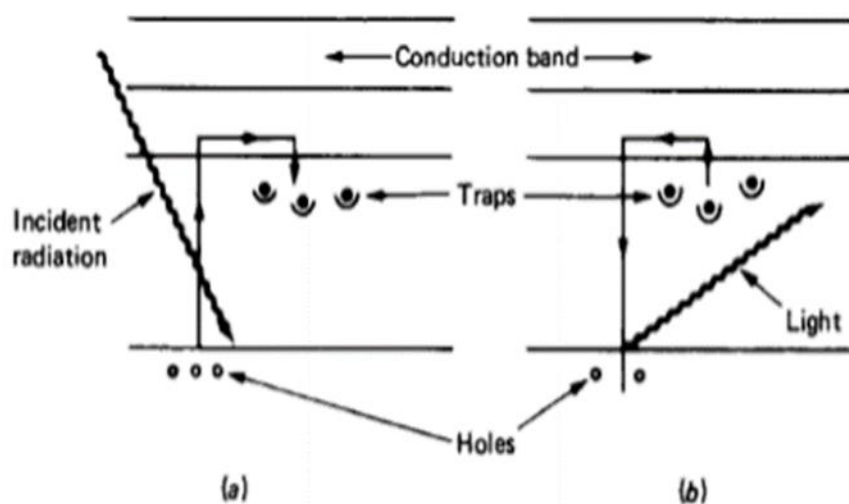
الکترون‌ها و حفره‌ها را به دام خود می‌اندازد. اگر در این زمان دمای بلور را کاهش بدهیم یا ثابت نگه‌داریم این الکترون‌ها در دام هستند و هیچ حرکتی ندارند اما زمانی که دمای بلور را افزایش می‌دهیم این الکترون‌ها از دام‌ها خارج می‌شوند و به حالت پایه خود برمی‌گردند. زمانی که این اتفاق می‌افتد باعث گسیل نوری می‌شود که به این نور گرمالیان گفته می‌شود که اساس دزیمت‌های گرمالیانی می‌باشد.



شکل ۳-۲ طرحواره سطح انرژی یک ماده [۲۶]

به قطعه‌ای از ماده گرمالیان که در معرض پرتوها قرار می‌گیرد دزیمت‌گرمالیانی گفته می‌شود. پس از توقف پرتودهی، تحت شرایط کنترل شده‌ای دزیمت‌گرمالیانی را گرما می‌دهند و شدت نور را برحسب دما و یا زمانی که دما بالا برده می‌شود اندازه‌گیری می‌گیرند، نتیجه این اندازه‌گیری منحنی درخشش است. منحنی‌های درخشش بیش از یک قله دارند که این قله‌ها مربوط به دام‌ها با انرژی‌های مختلف است. دامنه‌ی قله‌ها متناسب با حامل‌هایی است که در دام مربوطه گیر افتاده‌اند. میزان دز جذب‌شده را به دو شکل می‌توان تعیین کرد ۱- از طریق کل نور گسیل‌شده از منحنی ۲- از طریق ارتفاع دو یا چند قله

اگر دزیمت‌گرمالیانی را به مدت کافی گرما بدهیم تا تمام دام‌ها خالی شوند و سپس در محیط قرارگیرد تا به دمای محیط اطراف خود برسد، باز پخت می‌شود، یعنی به حالت اولیه خود بازمی‌گردد که از طریق دستگاه قرائت سنج اندازه‌گیری می‌شود [۲۶].



شکل ۲-۴ گیر افتادن حامل‌ها بر اثر تابش [۲۶]

دزیمتری‌های گرمالیانی دزیمترهای فردی و محیطی بسیار دقیقی هستند. در مقایسه با فیلم بیج گران‌ترند و در پرتوشناسی از اهمیت کمتری برخوردار هستند. بلور لیتیم فلوراید (LiF) معمولی‌ترین بلور گرمالیانی برای دزیمتری فردی است که امکان استفاده مجدد از آن وجود دارد. همچنین در دزیمترهایی که فواصل زمانی طولانی اهمیت دارد می‌توان از دزیمتر TLD استفاده کرد [۲۱].

۲-۴- دزیمتری محیطی ۱

دزیمتر محیطی میزان دزی که از منابع مصنوعی رادیواکتیویته به محیط برخورد می‌کند را اندازه‌گیری می‌کند. دزیمتری محیطی برای اندازه‌گیری تابش یونیزه که در معرض مکان‌های خارجی قرار دارند استفاده می‌شوند.



شکل ۲-۵ دزیمتر محیطی [۲۶]

۵-۲- تاریخچه گرمالیانی

در زمان‌های گذشته به وسیله اشیائی که گرما دریافت می‌کردند، می‌توانستند تاریخچه گرمالیانی، را تعیین کنند. زمانی که به اشیاء در حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس گرما می‌دادند این گرما باعث آزاد شدن الکترون‌ها می‌شد که آزاد شدن الکترون‌ها، باعث آزاد شدن نور می‌شد. با مطالعه میزان نور دریافتی که به اشیاء رسیده می‌توان به تاریخچه شان پی برد. از مشکلات این روش می‌توان گفت، میزان امواج دریافت شده توسط اشیاء در طول زمان یکسان نبوده و جواب درستی نمی‌دهد.

۱- مواد پرتوزای موجود در خاک یا محیط اطراف در زمان واپاشی از خود پرتوهای آلفا، بتا و گاما با انرژی‌های مشخص منعکس می‌کنند. انرژی ساطع شده از این مواد پرتوزا در بلورهای جامد مانند بلورهای کوارتز و فلدسپار موجود در خاک ذخیره می‌شوند.

۲- پرتوهای کیهانی که بیشترین قسمت این پرتوها از پروتون‌هایی با انرژی بالا و عمق نفوذ زیاد تشکیل شده‌اند. انرژی که از ساطع شدن پرتوهای یونزای موجود در خاک و پرتوهای کیهانی، که از زمان تشکیل کانی‌ها در آن ذخیره می‌شوند تا حدود ۱۰ میلیون سال می‌توانند در جسم باقی بمانند. اما زمانی که به جسم حرارت می‌دهیم این انرژی آزاد می‌شود. در زمان پخت سفال در کوره این انرژی‌ها آزاد می‌شود. اگر در آزمایشگاه، نمونه حرارت داده شود، می‌توان در طی زمان مقدار انرژی ذخیره شده آن را اندازه‌گیری کرد و با تخمین مقدار انرژی که سالانه به جسم منتقل شده است، قدمت آن را تعیین کرد.

نخستین بار در سال ۱۹۲۸ ویک^۱ واسلاتر^۲ از مواد گرمالیانی استفاده کردند. دانلیز^۳ و همکارانش در سال ۱۹۵۰ تلاش زیادی در زمینه مواد گرمالیانی و کاربردهای آن در دزیمتری انجام دادند که بیشترین بررسی آن‌ها بر روی نمونه‌های زمین‌شناسی و هالیدی قلیایی و ویژگی‌های گرمالیانی بود.

۶-۲- فیزیک گرمالیانی

امروزه برای اندازه‌گیری و آشکارسازی پرتوهای یون‌ساز از روش گرمالیانی که در دسته فرایندهای لومینسانس قرار دارد استفاده می‌کنیم. اگر طی مرحله‌ای یک ماده تحریک شود و از حالت برانگیخته به حالت پایه برسد و انرژی خود را به صورت تابش فوتون یا مادون‌قرمز رها سازد لومینسانس^۴ می‌گویند. لومینسانس از کلمه لومن^۵ به معنی نور گرفته شده است. این تابش‌ها به دو دسته فسفرسانس و فلوئورسانس تقسیم می‌شوند. با توجه به اینکه فسفرسانس، فلوئورسانس و لومینسانس بسیار به یکدیگر شبیه هستند اما تفاوت‌هایی دارند. اولین تفاوتی که بین فسفرسانس و فلوئورسانس می‌توان گفت تفاوت در گسیل نور است. فلوئورسانس نیمه عمر کوتاهی دارد و تحت تاثیر تابش، انرژی جذب شده را سریع آزاد می‌کند اما در فسفرسانس زمان بیشتری انرژی جذب شده را نگه می‌دارد و مستقیم به حالت پایه نمی‌رود بلکه همانند شکل زیر ابتدا یک انتقال به یک سطح انرژی شبه پایدار انجام می‌دهد و بعد از برگشت دوباره به حالت برانگیخته، به حالت پایه گذار می‌کند و فوتون آزاد می‌شود به همین در مدت زمان بیشتری نسبت به پدیده فلوئورسانس اتفاق می‌افتد [۵].

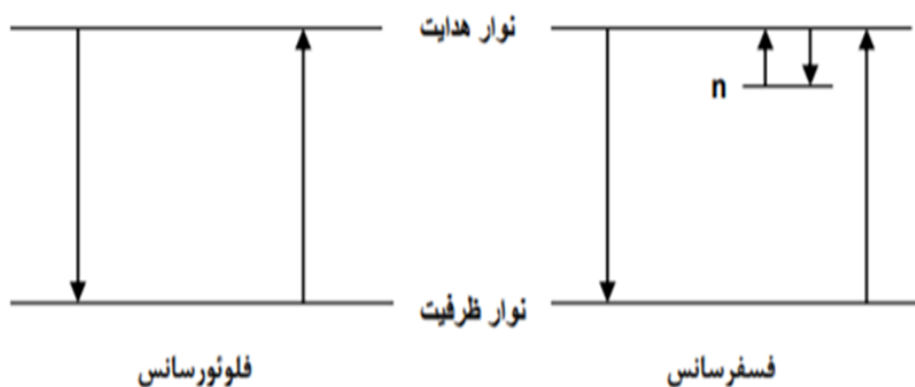
^۱Wake

^۲Souvenir

^۳Daniels

^۴Luimescence

^۵Lumen



شکل ۶-۲ گذار در پدیده فسفرسانس و فلوئورسانس [۵]

دومین تفاوت، گسیل نور در پدیده فلوئورسانس و فسفرسانس برخلاف لومینسانس بدون نیاز به محرک خارجی بوده و در این پدیده ها گسیل نور به صورت خود به خودی است، که این مورد به دلیل کوچک بودن گاف انرژی است. اما در لومینسانس انرژی پس از تحریک به وسیله ی یک عامل خارجی آزاد می شود. انواع مختلف لومینسانس بستگی به این دارد که چه نوع محرک خارجی باعث تحریک الکترون ها و گسیل نور شده است.

۱-تریبولومینسانس^۱: محرک مکانیکی می باشد.

۲-لومینسانس شیمیایی: محرک شیمیایی می باشد.

۳-کاتدولومینسانس : محرک بمباران با پرتو کاتدی می باشد.

۴-فوتولومینسانس : محرک نوری می باشد.

۵-رادیومینسانس: محرک انرژی هسته ای به شکل پرتو ایکس و گاما می باشد.

۶-الکترومینسانس : محرک انرژی الکتریکی می باشد.

۷-بیولومینسانس^۲: محرک فرآیند های بیو شیمیایی می باشد.

۸-سونولومینسانس^۳: محرک امواج صوتی می باشد.

^۱Cathodoluminescence

^۲Bioluminescence

^۳Sonoluminescence

در پدیده گرمایی محرک گرما نیست برای همین از (TL) استفاده می کنند. ولی در پدیده لومینسانس محرک آن گرما یعنی (TSL) می باشد.

در مورد پدیده فسفرسانس، با فرض اینکه انرژی از توزیع ماکسول پیروی کند. احتمال تحریک گرمایی یک الکترون در دمای محیط در مرکز گیراندازی به شکل یک تابع نمایی وابسته به دما به صورت رابطه (۲-۳) می باشد.

$$P = s \exp(-E/KT) \quad (2-3)$$

که k ثابت بولتزمن است، E (eV) فاصله انرژی گیرانداز n از باندی که هدایت می شود T دما که بر حسب کلین و S یک ثابت با بعد عکس زمان است. پس از این نتیجه می گیریم پدیده فسفرسانس به دما بستگی دارد. تفاوت های فسفرسانس و فلوئورسانس را می توان به صورت زیر بیان کرد.

۱- تعداد اجسامی که پدیده ی فسفرسانس در محیط اطراف ما در آن ها رخ می دهد بسیار کمتر از اجسامی که پدیده ی فلوئورسانس است به همین دلیل فسفرسانس کاربرد بیشتری دارد.

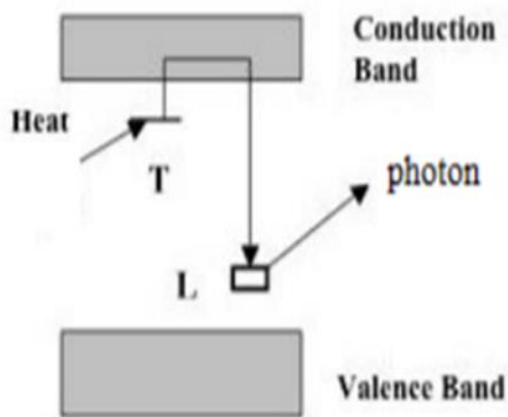
۲- فسفرسانس بعد از اینکه منبع برانگیزش حذف شود ادامه دارد به همین دلیل که فسفرسانس از فلوئورسانس دیرتر از بین می رود و به راحتی بدون مزاحمت فلوئورسانس می توان آن را اندازه گیری کرد.

۳- شدت سیگنال در فلوئورسانس بسیار بیشتر از فسفرسانس می باشد.

۴- در دماهای معمولی نمی توان شدت سیگنال های پدیده فسفرسانس را آشکار سازی کرد.

۵- پدیده فسفرسانس در گازها خیلی کم اتفاق می افتد.

۶- قله ها در پدیده فلوئورسانس طول موج کوتاه تری دارند و در پدیده فسفرسانس طول موج بلندتری دارند.



شکل ۷-۲ طرح کلی فرآیند گرماییانی [۲۷]

فرآیند گرماییانی را به روش راندال^۱ و ویلکنیز^۲ توصیف می‌کند. یعنی حالتی که فقط یک نوع مرکز گیراندازی و باز ترکیب با عمق (انرژی) مشخص وجود داشته باشد. اما ممکن است در حالت کلی چندین مراکز گیراندازی و حتی چندین مرکز باز ترکیب وجود داشته باشد که هر کدام از آن‌ها انرژی فعال سازی مشخصی دارند. یا امکان دارد با توجه به پیشرفت و مدل‌های جدیدتر یک بلور توزیع پیوسته داشته باشد یعنی این‌که در یک بازه انرژی بتواند تمام مقادیر را در اختیار خود داشته باشد [۲۷].

۷-۲- نکات مهم در ایجاد گرماییانی

۱- بعد از اینکه بلور پرتو دهی شد، برای آزاد شدن الکترون‌ها باید به ماده گرما بدهیم.

۲- الکترون‌هایی که از دام‌ها آزاد می‌شوند با حفره ترکیب و انرژی که جذب کرده‌اند را آزاد می‌کنند.

۳- در همان ابتدا ماده باید مقداری تابش یوننده دریافت کند که الکترون‌ها و حفره‌ها قادر باشند تا در دام‌ها قرار بگیرند.

۴- باید جنس ماده از عایق یا نیمه‌رسانا باشد تا باند هدایت آن خالی باشد. چون فلزات خاصیت لومینسانس

^۱Randall

^۲Wilkins

از خودشان نشان نمی‌دهند[۱۷].

۸-۲- کاربردهای گرمالیانی

۱- به دلیل اینکه بعضی از دزیمترها عدد اتمی آن‌ها معادل به بافت بدن انسان است، این ویژگی باعث می‌شود تا پاسخ دزیمتر نسبت به پرتوهای (ایکس و گاما) به انرژی پرتو بستگی نداشته باشد. به دلیل این که این دزیمترها بسیار دقیق هستند. برای اندازه‌گیری پرتوگیری پرتو کاران و یا بیماران در فرآیندهای پرتو تشخیصی و پرتودرمانی کاربرد دارند.

۲- دزیمترهای TLD برای اندازه‌گیری پرتوهای ایکس، گاما، و بتا قابل استفاده است.

۳- دزیمترهای TLD خاصیت استفاده مجدد را دارند یعنی پس از هر بار قرائت اطلاعات ذخیره شده در آن‌ها تخلیه شده، و می‌توانیم دوباره از آن‌ها استفاده کنیم.

۴- عوامل محیطی از جمله دما، نور و رطوبت بر روی آن‌ها اثری ندارد و باعث از دست رفتن اطلاعات ذخیره شده در آن‌ها نمی‌شود.

۵- به دلیل این که در پرتوگیری، اشباع نمی‌شوند می‌توانیم در بازه زیادی از دزهای کم تا دزهای زیاد با دقت بالا از آن‌ها استفاده کنیم.

۶- کارت‌های دزیمتری فردی TLD بسته به نوع کاربرد و میدان پرتو که پرتوکار با آن مواجه می‌شود می‌تواند شامل ۲، ۳ و یا ۴ کریستال باشند. در صورتی که دست پرتوکار در معرض پرتوگیری باشد، دزیمتر فردی TLD هنگام کار روی مچ دست نصب می‌شود و یا یک عدد کریستال TLD در قاب انگشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- در مطالعات گرمالیانی، کنترل دما و تعیین دز مشکل اساسی وجود دارد. مشکل کنترل دمای عایق حرارتی پودری در خلاء زیاد است. دمای واقعی عایق در خلاء بالا و با تابش انرژی بین عایق و محیط اطراف آن به دمای بالای می‌رسند. برای رسیدن به یک محیط گازی به منظور ایجاد درجه تعادل با اندازه‌گیری دز و

با ساختن نگهدارنده مخصوص که جنس آن از یک ماده معادل بافت است انجام می‌شود.

۹-۲- ویژگی‌های ماده گرمالیانی

۱-۹-۲- پاسخ دز

پاسخ دز تابعی وابسته به شدت گرمالیانی اندازه‌گیری شده و دز جذب شده است. اگر پاسخ دز را با $F(D)$ نمایش دهیم که تابعی از مقدار دز است، در این صورت پاسخ TL به دز دریافتی از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۲].

$$f(D) = (F(D)/(D)) / (F(D_1)/(D_1)) \quad (2-4)$$

$F(D_1)$ به ناحیه دزهای پایین بستگی دارد. پاسخ TL نسبت به دز دریافتی خطی است. منحنی تغییرات $F(D)$ نسبت به مقدار دز دریافتی (D) دارای سه ناحیه خطی، زیرخطی، فوق خطی است. اگر $f(D) < 1$ پاسخ فوق خطی، اگر $f(D) > 1$ زیرخطی و اگر $f(D) = 1$ دزیمتر ایده‌آل است. در مورد دزیمتر ایده‌آل نیاز به کالیبره کردن دزیمتر در دزهای مختلف نیست. در بیشتر حالات پاسخ زیرخطی در زمان نزدیک شدن ماده اشباع می‌شود. مقدار واقعی $f(D)$ برای هر دز معین به عوامل خارجی و نوع ماده بستگی دارد. از جمله عوامل خارجی انرژی پرتوها، جزئیات مراحل حرارتی برای اندازه‌گیری منحنی‌های درخشش و روش قرائت منحنی درخشش برای گرمادهی نمونه‌ها را می‌توان نام برد. میزان دزها را به سه دسته‌ی دزهای پایین که از پایین‌ترین مقدار موجود تا ۲۰ گری و دزهای بالا که از ۲۰ گری تا ۱۰۰۰ گری و از ۱ کیلو به بالا در دزهای خیلی بالا می‌توان تقسیم کرد. ساختار ماده میزبان و نقایص آن به $f(D)$ بستگی دارد. دلایلی زیادی وجود دارد که باعث شده مواد گرمالیانی از خودشان رفتار فوق خطی نشان دهند. این دلایل به تابش ماده مورد نظر یا گرم کردن این ماده در مرحله قرائت گرمالیانی بستگی دارد. هر ماده گرمالیانی ویژگی‌های مختلفی دارد یکی از این ویژگی‌های مهم خطی بودن پاسخ دز است. یعنی با افزایش میزان انرژی جذب شده در واحد جرم ماده، پاسخ خطی آن

به صورت خطی افزایش می‌یابد. در نانو ذرات به دلیل افزایش نسبت سطح به حجم پاسخ خطی نسبت به حالت توده‌ای بیشتر است. به همین دلیل است که در نانو ذرات انرژی سطحی بزرگ‌تری دارند. زمانی که سطح دز کم است چگالی انرژی برای تحریک کردن حامل‌های بار و گیراندازی آن‌ها در مراکز گیراندازی به اندازه کافی نیست و این باعث می‌شود حالت اشباع در نانو ذرات در سطح‌های بالاتری اتفاق بیفتد [۲۲].

۲-۹-۲- انرژی ذخیره شده

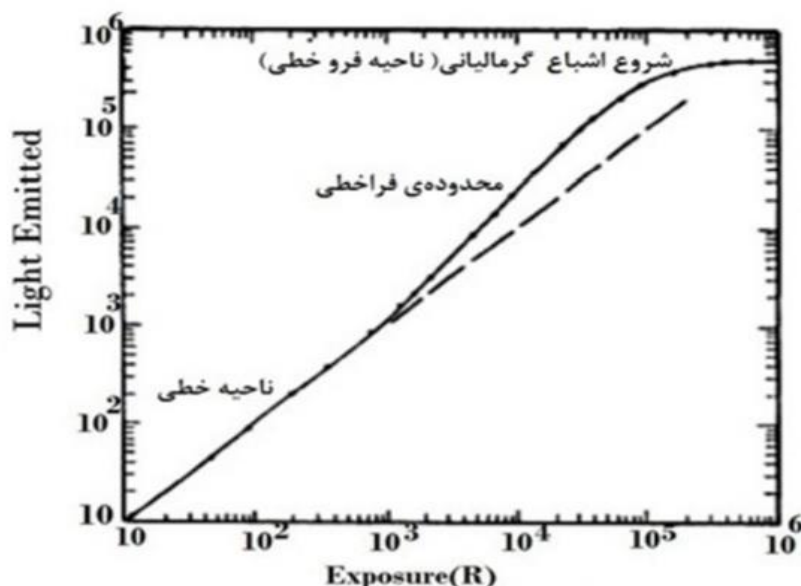
مراحل جذب انرژی در ماده گرمایی به انرژی تابش شده بستگی دارد. در اکثر مواد اگر جذب انرژی فوتون کمتر از ۱۵ keV باشد پدیده فتوالکتریک اتفاق می‌افتد. در مواد با عدد اتمی پایین، اگر انرژی بیشتر از MeV ۱ باشد، پدیده کامپتون رخ می‌دهد. برای مواد با عدد اتمی بالا پدیده فتوالکتریک تا انرژی ۱۰۰ keV اتفاق می‌افتد. ولی امکان این که دو پدیده رخ دهد وجود دارد. علت رخ دادن این دو پدیده به دلیل حساسیت و اثرپذیری مواد به تابش و گرما می‌باشد.

۲-۹-۳- محوشدگی

هرگاه یک ماده در معرض پرتوهای تابش قرار می‌گیرد مقدار دزی که به آن می‌رسد متناسب است با تعداد الکترون‌هایی که در مرکز گیراندازی قرار گرفته‌اند. زمانی که این الکترون‌ها (بدون عامل تحریک) قبل از خوانش آزاد شوند این پدیده را محوشدگی می‌نامند. محوشدگی دارای منشا اپتیکی و یا گرمایی است. محوشدگی گرمایی یعنی احتمال تحریک گرمایی یک الکترون در مرکز گیراندازی با عمق E در دمای مطلق T، که این رابطه با فرمول بولتزمن بیان می‌شود [۱۷].

$$P=S \exp (-E/KT)$$

(۲-۵)



شکل ۸-۲ منحنی پاسخ برای ۱۰۰-TLD [۳]

که در رابطه بالا S ضریب فرکانس است. نیمه عمر $T_{1/2}$ برای یک تله، به صورت مدت زمانی است که الکترون‌های به دام افتاده در تله به نصف مقدار اولیه‌اش برسد، تعریف می‌شود.

$$T_{1/2} = (0.693/P)S \quad (۲-۶)$$

در دمای اتاق ممکن است محوشدگی گرمایی باعث از بین رفتن سیگنال ذخیره‌شده شود. دلیل محوشدگی بالا، به دلیل حضور قله‌های دمای پایین در منحنی درخشندگی است. اگر دما (T) چندین برابر از دوره پرتودهی باشد (زمان پرتودهی و خوانش) سیگنال‌های پایدار قابل استفاده برای دزیمتری می‌باشند.

محوشدگی اپتیکی: از ویژگی‌های مهم مواد دزیمتری این است هرچه زمان از لحظه پرتودهی می‌گذرد باعث ایجاد پایداری پاسخ گرمایی می‌شود. یکی از عواملی که در بررسی دزیمتری برازش و تفسیر منحنی گرمایی خطا ایجاد می‌کند این است که، مقداری از منحنی محو شود (یعنی با گذشت زمان پاسخ گرمایی پس از پرتودهی کاهش می‌یابد). لذا منجر به از بین رفتن اطلاعات مربوط به پرتودهی می‌شود. دمای قله منحنی

گرمالیانی نقش مهمی در میزان محوشدگی منحنی پاسخ گرمالیانی دارد. هرچه الکترون‌ها به راحتی انرژی که نیاز دارند را به دست بیاورند و از دام‌ها خارج شوند دمای ظاهر شدن قله پایین تر می‌رود و این باعث ناپایداری قله‌ها، افزایش محوشدگی می‌شود. میزان محوشدگی در نمونه‌های توده‌ای خیلی بیشتر از نمونه‌های نانو مواد است. چون دمای قله در نانو مواد در مقایسه با نمونه‌های توده‌ای با دماهای بالاتر جابه‌جا می‌شوند. از جمله پارامترهای ۱-درجه حررات نگه‌داری ۲-شرایط باز پخت ۳-نوع تابش ۴-ناحیه ادغام منحنی درخشش، به میزان محوشدگی بستگی دارد [۱۷].

۴-۹-۲- پاسخ انرژی

پاسخ انرژی یک ماده به اختلاف درگرمالیانی خروجی برای دز یکسان مرتبط می باشد که به صورت تابش های انرژی از پرتوهای جذب شده می باشد. لذا اختلاف به عواملی از جمله ضریب جذب مواد و انرژی پرتو بستگی دارد. همچنین پاسخ انرژی گرمالیانی به عدد اتمی و انرژی فوتون بستگی دارد. پاسخ انرژی فوتون با معادله زیر بیان می‌شود.

زیرنویس m به مواد گرمالیانی و ref ماده مرجع بستگی دارد [۱۸].

$$s_E(E) = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)m}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{ref}} \quad (۷-۲)$$

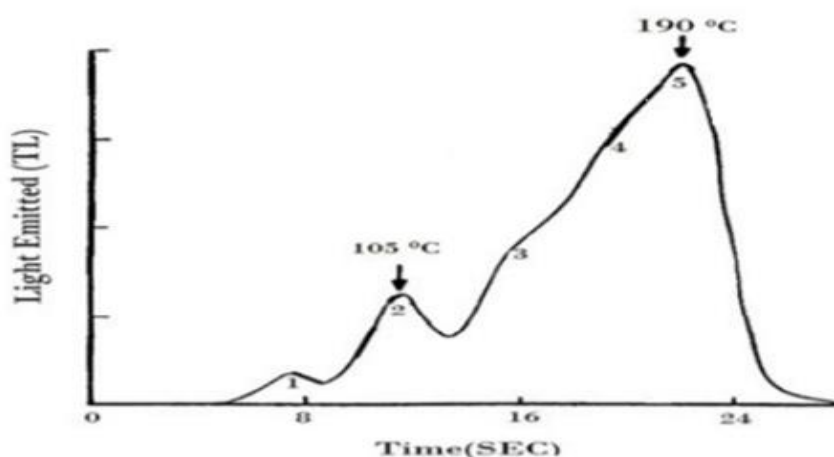
۵-۹-۲- منحنی درخشندگی ۱

نیم‌قرن است که تجزیه و تحلیل منحنی‌های درخشش گرماسنجی مورد توجه قرار گرفته است. در اوایل بیش تر از مدل‌های ساده ریاضی و فیزیکی برای انجام محاسبات استفاده می کردند. باگذشت زمان و با افزایش فناوری، قدرت رایانه‌های کوچک و استفاده از تجزیه و تحلیل منحنی‌های درخشش پیچیده‌ای برایمان ممکن

شده است.

گرماسنجی یک پدیده فیزیکی است زمانی که الکترون‌ها یونیزه می‌شوند به حالت برانگیخته می‌روند بعضی از الکترون‌ها در ناخالصی‌ها به دام می‌افتند و زمانی که به الکترون‌ها انرژی داده می‌شود از دام‌ها رها می‌شوند و به حالت پایه می‌روند در این زمان از خودشان نوری ساطع می‌کنند و این شدت نور که متناسب است با دز تابش شده و تابعی از درجه حرارت است را منحنی تابش می‌گویند.

منحنی‌های درخشندگی بیشتر از یک قله دارند که هر کدام از این قله‌ها مجموعه متفاوتی از مراکز دامی الکترون را بیان می‌کند. ارتفاع هر قله متناسب با سطح انرژی دام الکترون خالی و دامنه آن متناسب با تعداد الکترون‌هایی است که در دام‌های مربوط حبس شده‌اند [۱۲].



شکل ۲-۹ منحنی درخشندگی چند قله [۳]

هرگاه بخواهیم سطح زیر منحنی درخشش را بررسی کنیم باید به موارد زیر دقت کرد:

برای اینکه بخواهیم در نمودار منحنی درخشندگی تقارن داشته باشیم باید آهنگ گرمایی منظمی داشته باشیم. آهنگ گرمایی از عوامل موثر در ارتفاع قله و دمای قله اصلی است. زیرا با افزایش آهنگ گرمایی در مرحله قرائت انتقال حرارت بین صفحه قرائت‌گر و نمونه‌ها کندتر می‌شود و امکان دارد دام‌ها تخلیه نشوند و در دمای بالا تخلیه شوند که باعث می‌شود منحنی درخشش به سمت دماهای بالاتر برود.

۲- گسیل شدت نور گرمایی در دماهای پایین به عواملی مانند دمای محیط و زمان سپری‌شده بین پرتودهی و قرائت گرمایی، وابسته است.

۳- شدت نور گسیل شده در دمای بالا به دلیل تابش‌های مادون قرمز است. زمانی که نور گسیل می‌شود تابش‌های مادون قرمز آن باعث می‌شود، نمودار منحنی درخشش در انتها خیلی آرام صفر شود. لذا خط‌های اندازه‌گیری زیاد شده، به همین دلیل باید حذف شوند.

۶-۹-۲- نور محیط

به دلیل حساسیت بعضی از دزیمترها باید از نمونه قبل، بعد و حین پرتودهی به‌خوبی مراقبت کرد و از دزیمترهایی که حساسیت بیشتری به نور دارند باید در محیط تاریک نگهداری شوند.

۷-۹-۲- بازپخت ۱

امروزه با گسترش علم دانش بسیاری از پژوهشگران از دزیمتری‌های که رفتار بسیار نزدیکی به بافت بدن انسان در مقابل پرتوها دارند استفاده می‌کنند. به همین دلیل است برای ثابت نگه‌داشتن قله‌های گرمالیانی، نیمه‌عمر دزیمترها، در دمای اتاق و استفاده دوباره از این دزیمترها برای چند بار روش‌های متفاوتی مثل گرمادهی ماده قبل از پرتودهی (بازپخت) و گرمادهی بعد از پرتودهی استفاده می‌کنند. چون ممکن است به علت پدیده محو شدگی اطلاعات در مورد دز دریافت شده در ماده از بین برود. با حرارت دادن ماده قبل از پرتودهی باعث می‌شود تا الکترون‌هایی که در ترازهای عمیق قرار گرفته اند به طور کامل تخلیه شوند (یعنی سیگنال گرمالیانی را به صفر برسانیم) با گرما دادن قبل از پرتودهی این احتمال وجود دارد که اتم‌ها اطراف نقطه تعادل ارتعاش کنند و در کمترین انرژی قرار بگیرند [۱۷].

یکی از عوامل مهم، رفتارهای گرمادهی در دزیمتری است به همین دلیل باید بسیار مورد توجه قرار بگیرد. برای اطمینان از سیگنال‌هایی که ذخیره شده و استفاده دوباره از ماده بدون اینکه تغییری در حساسیت گرمالیانی ایجاد شده باشد، باید ماده در دما و زمان قبل از پرتودهی گرما داده شود تا خیلی سریع سرد شود. اگر در دما و زمان دقت نکنیم باعث به وجود آمدن اختلافاتی در ماده می‌شود. برای استفاده دوباره، ماده باید

^۱Annealing

حتما در وضعیت تعادل قرار گرفته باشند. برای برقراری تعادل نقص ترمودینامیکی باید گرمادهی ماده و سرد کردن آن ماده، قبل از پرتودهی انجام شود. برای استفاده مجدد ماده باید وضعیت تعادلی مناسب ایجاد شود. هدف از گرمادهی ماده و سرد کردن آن قبل از پرتودهی، برقراری تعادل نقص ترمودینامیکی است. این نقص ها در درجه حرارت پایین خوشه بندی یا رسوب یا جدا می شوند. اگر در درجه حرارت بالا سرد سازی خیلی سریع صورت بگیرد می تواند نقص های جدا شده را فریز کند و اگر سرد سازی آهسته صورت بگیرد به تغییر درجه توده نقص منجر می گردد [۱۲ و ۲۸].

۱-۷-۹-۲- انواع باز پخت

۱- بازپخت اولیه: این فرایند برای نمونه های پاک یا نمونه هایی که برای مدت طولانی استفاده نشده اند استفاده می شود. هدف از این فرایند استحکام ترازهای تله ها است چنانچه در طول استفاده های بعدی، زمینه های ذاتی و حساسیت تکرار پذیر باشد.

۲- بازپخت استاندارد: در صورتی که بازپخت قبل از پرتودهی یا بازپخت بعد از خوانش باشد را باز پخت استاندارد می گویند. هدف از این بازپخت از بین بردن اثر پرتودهی قبلی است که در بلور بعد از خوانش وجود دارد هدف از این رفتار گرمایی، برگرداندن ساختار تله ها و مراکز باز ترکیب به حالت اولیه است.

۳- باز پخت پس از پرتودهی: هدف از این نوع بازپخت ۱- قله هایی که در دمای پایین که در معرض واپاشی های خیلی سریع هستند (محوشدگی) رهایی پیدا کنند. ۲- خطاهایی که ممکن است در زمان تعیین دز به وجود آید را از بین ببرد.

تنها موردی که در سه بازپخت و منحنی درخشندگی حائز اهمیت است تکرار پی در پی آهنگ سرد کردن بعد از بازپخت می باشد. زیرا در آهنگ سرد سازی پایین ممکن است نقایص خوشه ای ایجاد شوند و در دماهای پایین پس زده شوند یا در دماهای بالا از هم دور شوند. همچنین اگر خیلی سریع سرد شوند در حالت تعادلی بالا نقایص جمع شده را منجمد می کند. و اگر خیلی آرام سرد شوند در حالت تعادلی بالا نقایص از هم جدا می شوند. آهنگ گرمایی در زمان خوانش به ارتفاع قله اصلی و دمای قله اصلی بستگی دارد. اگر ارتفاع قله

^۱precipitate

اصلی کم شود با افزایش آهنگ دمایی، دمای آن افزایش می یابد. زیرا در زمان خواندن انتقال حرارت بین بلنچت^۱ آرام رخ می دهد و دام ها نمی توانند تخلیه شوند. آن ها در دماهای بالا امکان تخلیه دارند و منحنی درخشندگی به دماهای بالاتر می رود.

۸-۹-۲- تکرار پذیری

یکی از مهم ترین ویژگی های دزیمتری گرمالیانی، استفاده مجدد و پی در پی از دزیمترها در کاربرد دزیمتری می باشد که این ویژگی را تکرارپذیری می گویند. هدف این است که با استفاده مکرر از ماده در فرایند بازیخت و پرتودهی، خواندن پاسخ گرمالیانی آن ماده تغییر نکند [۱۹].

۹-۹-۲- حساسیت

حساسیت برابر است با نسبت شدت خروجی گرمالیانی به واحد دز جذب شده است. حساسیت به عواملی چون ۱- دستگاه قرائت سنج ۲- آهنگ گرمادهی ۳- روش های اندازه گیری خروجی بستگی دارد. اگر بخواهیم تعریف دقیق تر و مناسبتری داشته باشیم، از حساسیت نسبی $S(D)$ استفاده می کنیم. S تابعی از آهنگ گرمادهی هنگام خوانش می باشد.

حساسیت نسبی یعنی: نسبت پاسخ گرمالیانی ماده به پاسخ گرمالیانی TLD-۱۰۰ محاسبه می شود. حساسیت $S(D)$ به صورت زیر تعریف می شود.

$$S(D) = F(D)_{\text{mareiar}} / F(D)_{\text{TLD-100}} \quad (2-8)$$

حساسیت تابعی از دز است ۱- زیرا رفتار نمونه ها در مقایسه با TLD-۱۰۰ غیرخطی می باشد. ۲- در مواد قله های درخشندگی پاسخ متفاوتی به تغییرات آهنگ گرمادهی می دهند [۱۴].

^۱Belnchet

۱۰-۹-۲- دز زمینه

در بسیاری از مواد طبیعی به دلیل وجود مقدار کمی از مواد پرتوزا دز زمینه به وجود می‌آید. دز زمینه مقدار دزی است که به صورت ذاتی بوده و هیچ پرتوهی در ماده دزیمتر وجود ندارد و اندازه‌گیری این کمیت به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. یکی از ساده‌ترین روش‌ها این است که ماده را در جایی که دز کاملاً مشخصی دارد قرار می‌دهند و سپس در دستگاه قرائت‌گر TLD دز کلی را مشخص می‌کنند و دز اضافی نشان‌داده شده مربوط به دز خودی است.

۱۱-۹-۲- اثرات دیگر

در مواد TLD علاوه بر خواص گرمایی محیطی، نور، نم و رطوبت نیز جز عوامل طبیعی مهمی هستند و در بیشتر جاهایی که مواد جاذب رطوبت نیستند بسیار کاربرد دارد. همچنین مواد نباید تمایلی به انجام واکنش داشته باشند یعنی از نظر شیمیایی هیچ حرکتی نداشته باشند. همچنین در حین گرمادهی اتمسفر محیط، اکسیژن نباشد چون باعث اکسایش سطح ماده و در نهایت کاهش نوردهی گرمایی می‌شود.

۱۰-۲- شکل ماده TLD

۱-پودر

۲-تک بلور

۳-دیسک های پرس شده

۴-میله ای

۵-دیسک های آغشته به تفلون

۱۱-۲- ویژگی های مواد گرمالیانی

۱- می تواند حامل های انرژی که به دام می افتد را در یک بازه زمانی در دمای محیط پرتوگیری طولانی نگه داری کند.

۲- نور خروجی که از مواد گرمالیانی در اثر گرما به آن ها داده می شود بسیار زیاد است.

۳- نوری که الکترون ها از خودشان ساطع می کنند تابعی از دما است که در یک گستره از دز به صورت خطی هستند.

۴- تابشی را تولید کنند که خیلی به دزهای پایین حساس باشند به عبارت دیگر حساسیت بالایی دارد. به عنوان مثال دزیمتری محیطی که دز را اندازه گیری می کند در حد میکروگری باشد.

۵- موادی که در دزیمتری های پزشکی و محیطی از آن ها استفاده می شود، باید با بافت بدن یکسان باشند (عدد اتمی موثر ۷,۴۲) یعنی هم تحریک پذیری و دریافت دز بسیار شبیه یکدیگر باشند.

۶- از مهم ترین ویژگی های یک دزیمتر تکرارپذیری آن می باشد. یعنی باید بتوانیم در دفعات متعدد از دزیمتر در پرتودهی و قرائت سنجی استفاده کرد.

۷- یک دزیمتر خوب و ایده آل باید رفتار گرمایی داشته باشد. یعنی اینکه با دادن انرژی یا گرما بتوانیم تراز های انرژی را تخلیه کرده و دوباره از آن ها استفاده کنیم.

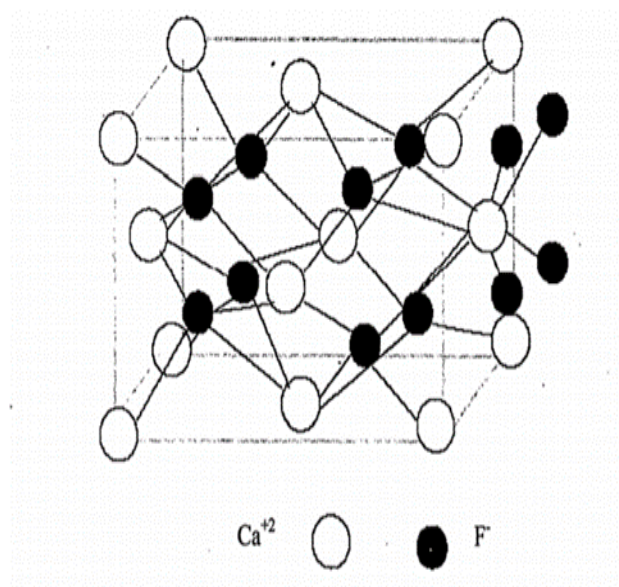
۵- یک دزیمتر باید محو شدگی پایین و پایداری زیادی داشته باشد. یعنی هرگاه به دزیمتری پرتو می دهیم تا زمانی که به آن گرما نداده ایم مراکز گیراندازی تغییری نکنند. (با مرور زمان شدت TLD آن کاهش نیابد).

۷- پاسخ دزیمتری که در دزیمتری مورد استفاده قرار می گیرد نباید به آهنگ پرتودهی وابسته باشد. یعنی دزیمتری را می توان در زمان کم با آهنگ دز بسیار بالایی به مقدار دز کل برسانیم. همچنین با زمان بسیار طولانی با آهنگ دز کمی به مقدار دز کل برسانیم [۱۷].

فصل ۳. ویژگی های کلسیم فلوراید

۱-۳- ساختار کلسیم فلوراید

کلسیم فلوراید یک ساختار مکعبی شکل است که یون‌های کلسیم و فلوراید مانند شکل (۱-۳) در کنار هم قرار گرفته‌اند. کاتیون‌ها در راس و مراکز وجه‌ها و آنیون‌ها ۸ حفره چهاروجهی تشکیل شده، به وسیله کاتیون‌ها را در داخل سلول واحد اشغال می‌کنند. هر کاتیون به وسیله ۸ آنیون احاطه شده است و هر آنیون با ۴ کاتیون با آرایش چهاروجهی احاطه می‌شود.



شکل ۱-۳ ساختار سلول کلسیم فلوراید

کلسیم فلوراید یک ترکیب معدنی است که از عناصر کلسیم و فلوئور با فرمول CaF_2 تشکیل شده است. کلسیم فلوراید یک ماده جامد نامحلول به رنگ سفید است. این ماده به صورت طبیعی نیز وجود دارد اما مواد معدنی طبیعی، شامل تعدادی ناخالصی است که از عناصر بسیار کمیاب زمین می‌باشد.

جدول ۱-۳ خصوصیات کلسیم فلوراید

فرمول مولکولی	CaF ₂
جرم مولی	۷۸,۰۸ gr/ mol
شکل ظاهری	جامد بلوری سفید (تک بلورها شفاف هستند)
چگالی	۳,۱۸ g/cm ³
نقطه ذوب	۱۴۱۸ درجه سلسیوس (۲۵۸۴ درجه فارنهایت؛ ۱۶۹۱ کلوین)
دمای جوش	۲۵۳۳ درجه سلسیوس (۲۸۰۶ کلوین، ۴۵۹۱ فارنهایت)
انحلال پذیری در آب	۱۰۰ gr/mol (۲۰ °C) ۱۰۰ gr/mol (۱۸ °C)
حاصل ضرب انحلال پذیری	۱۰ ^{۱۱} x ۳,۹ [۱]
انحلال پذیری	نامحلول در استون محلول در اسید
ضریب شکست	۱,۴۳۴۳

جدول ۲-۳ ساختار کلسیم فلوراید

ساختار بلوری	دستگاه بلور مکعبی cf _{۱۲}
گروه فضایی	Fm ۳m ۲۲۵#
موقعیت هندسی	ca ۸ cubic F ۴ tetrahedral

۲-۳- نقص های شبکه بلور

شبکه‌ی بلوری که تمام اتم‌های آن در مواضع صحیح شبکه‌ای در ساختمان بلور قرار بگیرند، شبکه بلور کامل نامیده می‌شود که در دمای صفر مطلق اتفاق می‌افتد. به ندرت ساختاری پیدا می‌شود که تمام اتم‌های آن در مواضع خود قرار گیرند. 10^{22} اتم در هر سانتی‌متر مکعب ماده وجود دارد. هرگاه اتم‌ها در جای خود قرار نداشته باشند باعث به وجود آمدن نواقص شبکه بلور می‌شوند. به دلیل ارتعاشات گرمایی ساختار شبکه بلور به هم می‌ریزد که در دمای بالا پدیدار می‌شود. وجود هر نوع نقص در شبکه بلور باعث افزایش آنتروپی می‌شود.

۱-۲-۳- نقص های شبکه

نقص‌های شبکه به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۱- نقص‌هایی که در شبکه بلور به صورت ذاتی وجود دارند.

۲- نقص‌هایی که بر اثر آلایدن مواد به یکدیگر به جود می‌آیند.

طبقه‌بندی دیگر نواقص شبکه بلور

۱- نقص‌های حرارتی به دلیل وجود نواقص ذاتی

۲- نقص‌های ایجاد شده به دلیل ورود ناخالصی‌ها، در شبکه یا نقص‌های غیر ذاتی

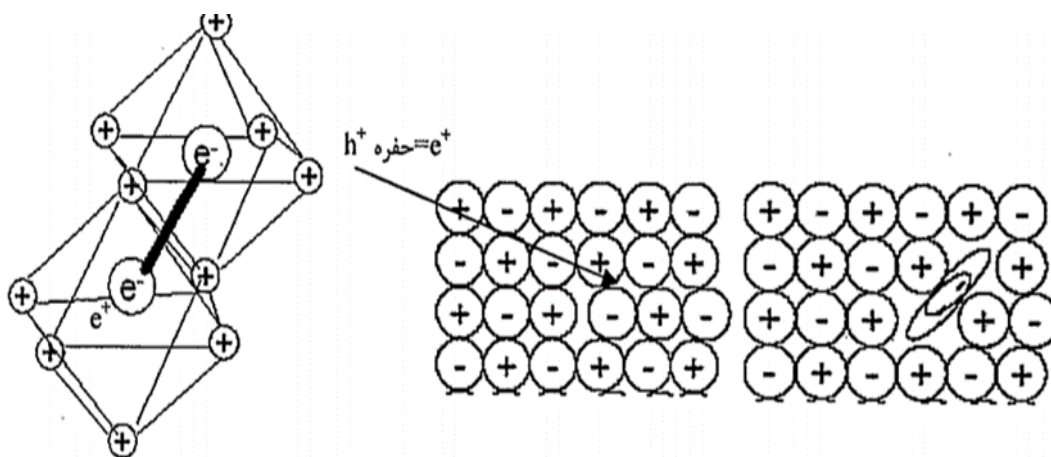
۳- نقص‌های که به دلیل وجود پرتوها به وجود می‌آید.

در نقص‌های ذاتی دمای شبکه، بر تعداد نقص‌ها تاثیر می‌گذارد و باعث پیچیدگی هرچه بیشتر ویژگی‌های گرمایی می‌شود. یکی از ویژگی‌های نقص‌های غیرذاتی این است که یک یون به جای یک یون دیگر در شبکه بلور قرار می‌گیرد. (که این جابه‌جایی‌ها به دلیل شباهت خیلی زیاد اندازه دو یون به یکدیگر اتفاق می‌افتد). ولی به دلیل این که یون اصلی و یون جانشین شده بار مشابهی ندارند. برای جبران بار اضافی در شبکه بلور، دچار تغییراتی می‌شود که باعث ایجاد حفره‌های کاتیون و آنیون می‌شود. در اثر برخورد یک پرتو با بلورهای قطبی نقص‌هایی به وجود می‌آید که به آن نواقص القاشده به وسیله پرتوها می‌گویند. پرتوهای یون‌ساز تغییرات متعددی را در شبکه بلور و ناخالصی‌هایی موجود در شبکه ایجاد می‌کنند. این تغییرات شامل نواقص الکترونی،

نواقص یونی و نواقص عمده مانند جابه جایی لایه ها می باشند. تمام نواقص در اثر برخورد پرتوها با بلورهای قطبی به وجود می آید که در میان آن ها نواقص الکترونی، یونی بیشتر می باشد.

۱-۲-۳- نواقص الکترونی

با تغییر ظرفیت ناخالصی ها در بلور و تغییرات ایجاد شده در نواقص شبکه، دو دلیل برای به وجود آمدن نواقص الکترونی می باشد. ساده ترین اثر پرتوها بر بلور، تغییر ظرفیت ناخالصی های موجود در شبکه با ظرفیت متغیر است. این ناخالصی ها با گیراندازی الکترون ها یا حفره هایی که پرتو در شبکه ایجاد می کنند تغییر ظرفیت می دهند. برای مثال کاتیون های RE^{+3} که در کلسیم فلوراید به صورت ناخالصی در شبکه وجود دارند، در زمان پرتوگیری به RE^{+2} تبدیل می شوند. تغییر بار، یا ظرفیت، در یک ناخالصی موجود در شبکه یکی از نتیجه های برخورد پرتوهای یون ساز با شبکه می باشد. احتمال به تله افتادن الکترون ها با حفره ها در ناخالصی ها با نوع



شکل ۲-۳ حفره ی در تله افتاده بین دو آنیون [۲۴]

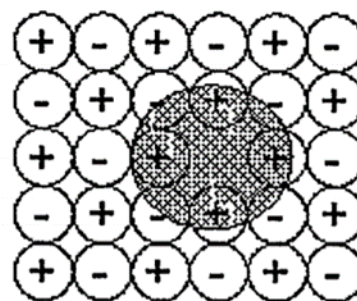
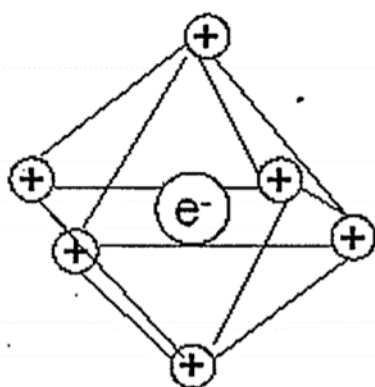
آن ها و نیز نوع شبکه تفاوت دارد. در شکل بالا مشاهده می کنیم دو آنیون در کنار یکدیگر هستند که یک الکترون از دست داده اند به سمت یکدیگر حرکت می کنند تا یک یون مولکولی ایجاد کنند. این یون ها از مکان اصلی خود جابه جا می شوند و جای کمتری را در بر می گیرند [۲۴].

۲-۱-۲-۳- نواقص یونی

نواقص یونی در مواد معدنی به دو دسته تهی جایها و اتم های میانین تقسیم بندی می شوند.

۳-۲-۱-۲-۱- تهی جایها

قسمتی از شبکه که یک یون یا یک اتم از دست می‌دهد را تهی‌جای می‌گویند. یکی از معروف‌ترین اثر خرابی پرتوها، تهی‌جای‌ها می‌باشد. بیش‌تر نقص‌های ناشی از پرتوها که در ترکیبات قطبی مشاهده شده است تهی‌جای یون‌های منفی است. تهی‌جای آنیون که از یک الکترون تشکیل شده، در ترکیب با یون‌های تک بار را مرکز F می‌نامند. همچنین تهی‌بارهایی شامل یک الکترون همان مرکز F و یا شامل دو الکترون F^+ نامیده می‌شوند. به همین دلیل در هر شبکه مراکز F، تهی‌جای آنیون هستند که به تعداد ظرفیت کاتیون شبکه شامل الکترون می‌باشد. تهی‌جایهای کاتیون، در تله الکترون که دارای بار منفی هستند قرار دارند. به همین ترتیب در ساختار MgO حفره به تله افتاده همچنین در تهی‌جای Mg^{+2} بین اکسیژن‌های اطراف تقسیم می‌شوند و مرکزهای جدیدی را پدید می‌آورند که در شکل زیر مرکز F نشان داده می‌شود.



شکل ۳-۳ نمایش یک مرکز F در شبکه قلیایی [۸]

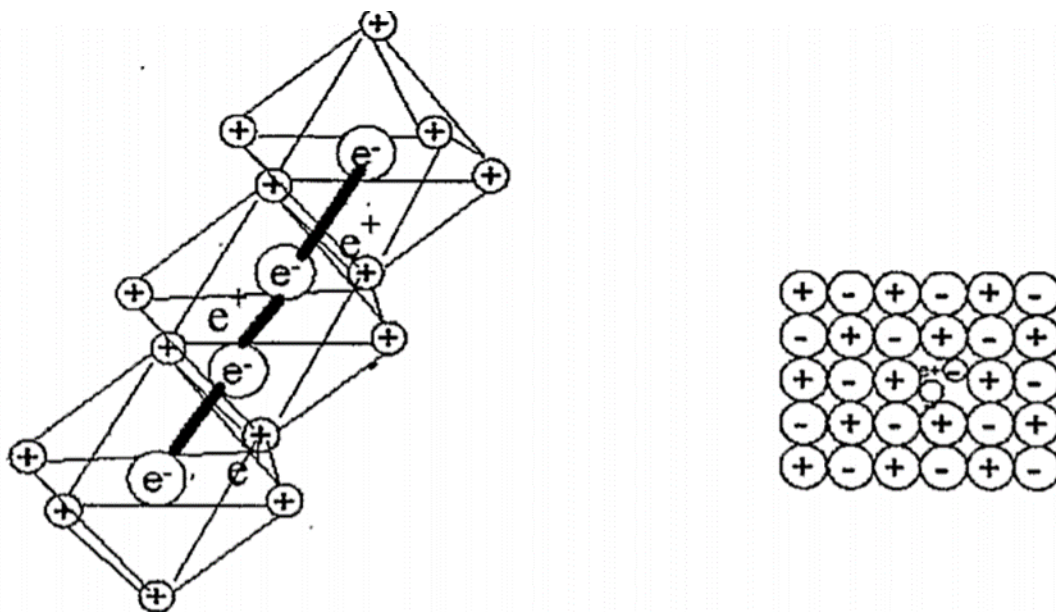
۳-۲-۱-۲-۲- اتم‌های میانین

یون موجود در شبکه زمانی که از محل قرار داشته حرکت کند امکان دارد به مکان اولیه اش بازگردد و یا در سطح فقط جابه‌جا شود و یا در مکانی غیر از مکان خودش باقی بماند در این صورت اتم یا یون مذکور را اتم میانین می‌گویند. احتمالات متعددی در شبکه برای اتم‌های میانین وجود دارد مثلاً امکان دارد یون میانین در ابتدایی‌ترین حالت و شکل متقارن در جای خود بماند یا اینکه به طرف دیگر یون‌های موجود در شبکه کشیده شوند. این باعث ایجاد یک مرکز با ساختار بسیار متفاوت شبیه به یون مولکولی^۱ می‌شود. در طی گزارش‌های انجام شده مدل اتم میانین توسط پرتوها در ترکیبات قطبی به جود آمده، به صورت معمولی حرکت

^۱Molecularion

می‌کنند. برای مثال یون میانین در شبکه نزدیک به یون دیگر می‌شود و با متصل شدن فضای خالی موجود را کمتر می‌کنند. در اثر پرتودهی در مواد قلیایی یون مولکولی را که با این نقص تشکیل می‌شود مرکز H می‌نامند.

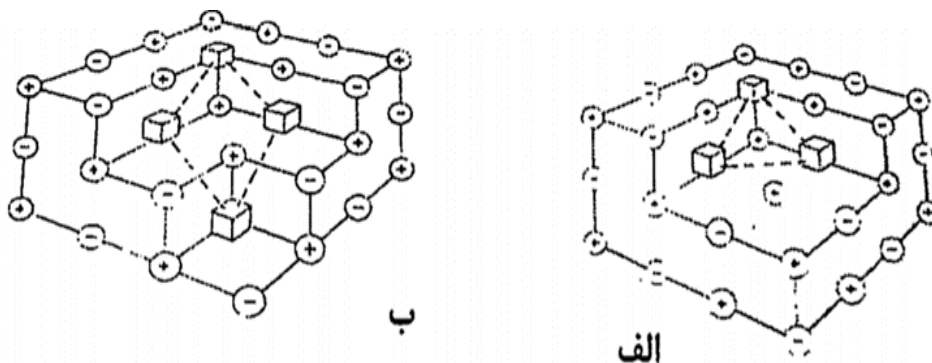
در شکل ۳-۴ مرکز H نشان داده شده است [۲۵].



شکل ۳-۴ نمایش مرکز H [۲۵]

نقص‌های یونی که در بالا گفته شد در شبکه به صورت انبوه و یا تجمعی می‌توانند حضور داشته باشند.

انبوه میانین در شبکه نیز قابل مشاهده است. این تهی جای ها به شکل چند مرکز F به صورت مختلف در کنار هم قرار دارند. در شکل ۳-۵ تجمع مراکز F نشان داده شده است.

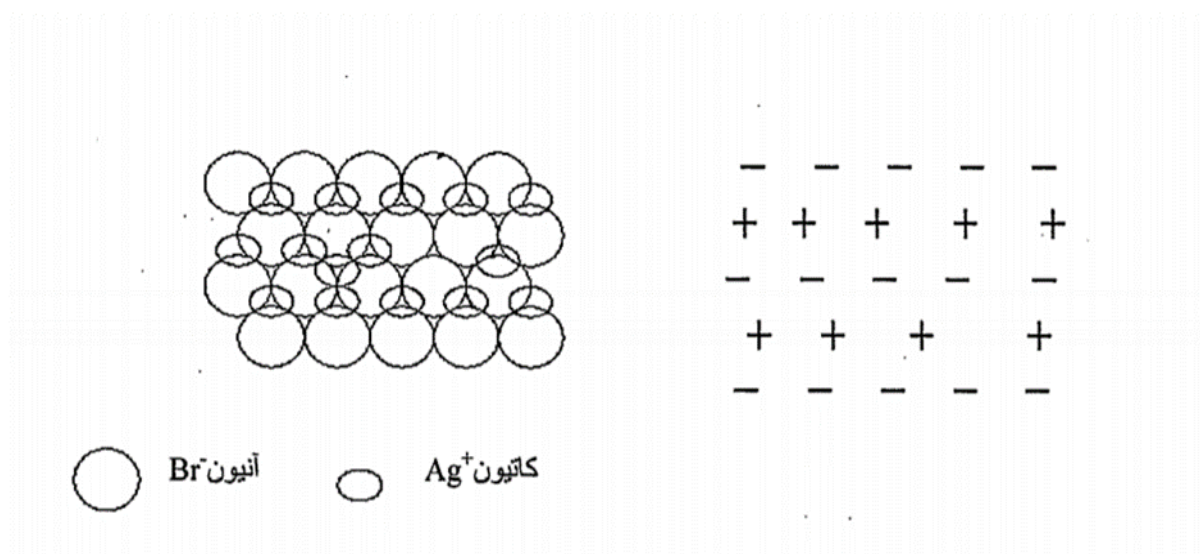


شکل ۳-۵ الف) تجمع مراکز F و ب) سه مرکز در کنار هم و تشکیل مرکز R [۲۴]

از پر اهمیت ترین نقص های ذاتی حرارتی که در شبکه هالیدی قلیایی خاکی وجود دارد می توان ۱- نواقص فرنکل^۱ ۲- نقص شاتکی^۲ را نام برد [۲۴].

۳-۲-۱-۳- نقص فرنکل

در ساختار نقص فرنکل تعدادی از بلورهای که انرژی شبکه ای آن ها کم است و اندازه آنیون بسیار بزرگ تر از اندازه کاتیون می باشد مشاهده می شود. برای مثال $AgCl$ ، $AgBr$ و یا بلورهایی که شبکه آن ها باز است، اما انرژی شبکه آن ها بالا است. مانند کلسیم فلوراید (CaF_2) که در نقص فرنکل تعدادی از آنیون ها و کاتیون ها از محل اصلی خود که بودند خارج می شوند و در شبکه در مکان دیگری جایگزین می شوند. نقص فرنکل هرگاه دما افزایش می یابد به جود می آید برای همین به نقص ترمودینامیکی معروف است. در شکل ۳-۶ نقص فرنکل در شبکه نقره را نشان می دهد.



شکل ۳-۶ نقص فرنکل در شبکه نقره [۲۴]

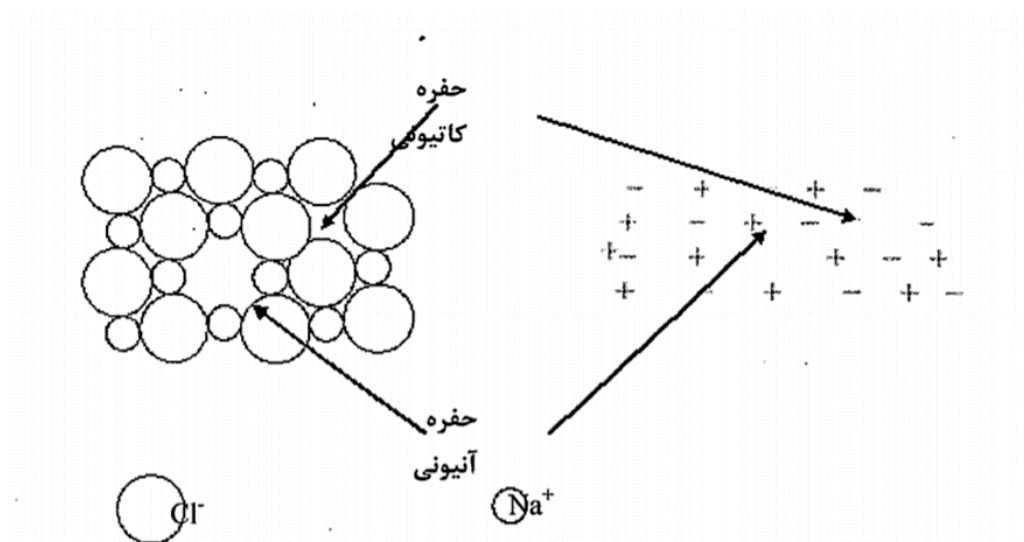
۳-۲-۱-۴- نقص شاتکی

نقص شاتکی در ساختار آن دسته از بلورهای یونی قابل مشاهده است که اندازه کاتیون ها و آنیون ها به یکدیگر نزدیک می باشند. برای مثال در بلورهای مثل هالیدهای قلیایی CrO اکسید قابل روئیت است. در نقص

^۱Frenkel defect

^۲Sckottky defect

شاتکی تعداد برابر از محل آنیون کاتیون خالی می ماند که باعث می شود در بلور تناسب عنصری، عنصر سنجی تغییر نکند در شکل ۷-۳ این نقص مشاهده می شود.



شکل ۷-۳ نقص شاتکی در بلور سدیم کلرید [۲۵]

۳-۳- بررسی نواقص شبکه بلور کلسیم فلوراید

یکی از مهم ترین نقص هایی که می توان نام برد فرنکل آنیونی می باشد. این نقص ها به خاطر پرتوها به آن ها وارد می شود. مراکز F در کنار هم در شبکه کلسیم فلوراید، و مراکزی مثل F_3 (سه مرکز F در کنار هم) و مرکز N در کنار هم قرار گرفته اند. در طی تحقیقاتی که انجام شد کاتیون های نادر خاکی (RE^{+3}) در فلوریت خالص وجود دارد. در عوض یون های Ca^{+2} در شبکه قرار می گیرند و جبران بار مثبت اضافی که به دلیل یون سه ظرفیتی جانشین در شبکه بلور، با نزدیک شدن یون های فلئوئور میانی انجام می شود باعث ایجاد یک کمپلکس دوقطبی (RE^{+2}) می شوند. با این نحوه قرار گرفتن امکان دارد تقارن ایجاد شود.

۳-۴- دزیمر کلسیم فلوراید

کلسیم فلوراید (CaF_2) یکی از پرکاربردترین مواد دزیمری انواع پرتوها به روش گرمایی می باشد. کلسیم فلوراید به صورت خالص در محیط وجود دارد و درصدهای متفاوتی برای درصد ترکیب کلسیم با فلئوئور گزارش

شده است. به طور مثال ۳۱,۵۱٪ برای کلسیم ۴۷,۶۷٪ برای فلوراید است. فلوریت (CaF_2 طبیعی) اولین بار توسط سچیس^۱ و همکاران به عنوان یک فسفر TL برای تابش معرفی شد. در بسیاری از کشورهای پیشرفته کلسیم فلوراید خالص و مصنوعی کاربرد تجاری دارد. علت استفاده زیاد از کلسیم فلوراید ۱- به خاطر حساسیت بالای که نسبت به TLD-۱۰۰ دارد ۲- منحنی درخشندگی آن نیز از TLD-۱۰۰ ساده تر می باشد که به میزان ناخالصی در ماده بستگی دارد. به علت حساسیت بالای آن باعث شده جز دزیمترهای ایده آل در محیط قابل استفاده باشد. کلسیم فلوراید طبیعی از قله های همپوش زیادی در منحنی گرمایی تشکیل می شود. این بلورها از ناخالصی های متفاوتی از عناصر کمیاب خاکی مثل دیسپروسیم (Dy)، تولیم (Tm)، و دیگر عناصر مثل مس (Cu)، منگنز (Mn)، مورد استفاده قرار گرفته اند و به عنوان فلوریت معدنی که به دلیل ناخالصی رنگی است مورد استفاده می باشد [۱۳].

۵-۳- کاربرد کلسیم فلوراید

کلسیم فلوراید در صنعت آلومینیوم و تصویربرداری حرارتی، طیف سنجی، تلسکوپ، لیزر برقی، فایبر گلاس، سرامیک، میله جوشکاری، شیشه و همچنین به عنوان عنصر الکترولیت، ماده روان کننده برای متالوژی آلومینیوم و در صنعت لامپ های شیشه ای و فلورسنت و دندان پزشکی کاربرد دارد. از فلئور در تهیه اسید هیدروفلوئوریک همچنین به عنوان سنگ قیمتی مورد استفاده قرار می گیرد. این طیف گسترده ای از فرکانس های ماوراء بنفش (UV) تا مادون قرمز (IR) شفاف است. ضریب شکست ضعیف آن، نیاز به پوشش های ضد انعکاس را کاهش می دهد. نامحلول بودن آن در آب نیز مناسب است. کلسیم فلوراید دوپ مانند فلوریت طبیعی، گرماسنجی دارد و در دزیمترهای گرماسنج استفاده می شود.

^۱Schayes

۶-۳- خطرات کلسیم فلوراید

خطرات کلسیم فلوراید به دلیل وجود محتوی مضر فلئوئور و محتوای سیلیس آن است. استنشاق حاد ممکن است باعث مشکلات دستگاه گوارش، روده، گردش خون و سیستم عصبی شود.

CaF_2 به عنوان ماده "خطرناک" محسوب نمی شود، ولی زمانی که با اسید سولفوریک اسید هیدروفلوئوریک واکنش می دهد ماده ای بسیار سمی تولید می کند.

فصل ۴. مرحله ساخت دزیمتر گرمالیانی

کلسیم فلوراید

۱-۴- مرحله ساخت

در این بخش به ساخت قرص‌های TLD و در بخش دوم به پرتودهی قرص‌های ساخته شده با چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷ پرداخته شده است.

۱-۴-۱- ساخت قرص

بعد از تنظیم فشار، قالب های ۶،۸ و ۱۰ میلی‌متر به ترتیب در دستگاه پرس قرار گرفت و پودر کلسیم فلوراید با استفاده از یک خط‌کش تمیز به داخل قالب ها هدایت شد. قرص‌های ساخته شده با قطر ۶ میلی‌متر دارای ضخامت ۱ و ۳ میلی‌متر بودند و قرص‌های با قطرهای ۸ و ۱۰ میلی‌متر در ضخامت‌های ۱،۵ و ۳ میلی‌متر ساخته شدند.



الف ب پ ت ث ج

شکل ۱-۴ قرص کلسیم فلوراید ساخته شده در این پژوهش

به ترتیب با ضخامت و قطر: الف) ۳ و ۱۰ ب) ۱،۵ و ۱۰ پ) ۳ و ۸ ت) ۱،۵ و ۸ ث) ۳ و ۶ ج) ۱ و ۶ میلی‌متر

۲-۱-۴- تجهیزات و وسایل مورد نیاز جهت ساخت قرص

۱-پودر کلسیم فلوراید

۲-ساخت و یا تهیه قالب

۳-ترازوی دقیق

۴-دستگاه پرس

۵-کوره

۶-بوته چینی

۱-۲-۱-۴- پودر کلسیم فلوراید

پودر کلسیم فلوراید (CaF_2) که در شکل زیر دیده می‌شود، تهیه‌شده از شرکت مرک آلمان است. دراین

پژوهش پودر کلسیم فلوراید به صورت خالص استفاده شد.



شکل ۲-۴ پودر کلسیم فلوراید

جدول ۱-۴ مشخصات تجاری پودر کلسیم فلوراید

فرمول مولکولی	CaF _۲
چگالی	۷۸,۰۸ gr/mol
نقطه جوش	۲۵۰۰°C(1013 h pa)
نقطه ذوب	۱۴۱۸ °C
دانسیته	۳,۱۸ gr/cm ^۳
PH مقدار	۴(۱۰۰ g/l, H _۲ O, ۲۰°C) (slurry)
انحلال پذیری	۰,۰۰۱۶ gr/l

۲-۲-۱-۴- تهیه قالب

قالب‌ها در اندازه‌های ۵ تا ۱۵ میلی‌متر در دو طرح محدب و تخت است. قرص‌های که در این تحقیق ساخته شده در قالب‌های ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر با ضخامت‌های مختلف ۱، ۱,۵ و ۳ میلی‌متر است. جنس قالب‌ها از فولاد است که در برابر فشارهای بسیار زیاد استحکام خوبی دارد. پودرها را در قالب‌ها ریخته و بعد از پرس کردن پودر، قرص‌ها با ابعاد بیان شده از دستگاه بیرون آمد. سختی در تمام قرص‌ها یکسان، همچنین فشار و شرایط محیطی برای همه همسان بود و قالب قرص‌ها که در نظر گرفته شد برای دستگاه قرائتگر TLD مناسب بود.



ب

الف

شکل ۳-۴ الف) نمای کلی از قالب های قرص استفاده شده در این پژوهش در دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد و ب) قالب بزرگ شده ی ۸ میلی متری.

۳-۲-۱-۴- ترازوی دقیق

ترازو آزمایشگاهی یک ترازوی دقیق برای اندازه گیری وزن اجسام و ماده ها است. از مهم ترین تجهیزات آزمایشگاهی برای بیشتر آزمایشگاه ها به شمار می آید. دقت ترازوی مورد استفاده در این تحقیق یک صدم گرم است. قرص های ساخته شده توسط ترازوی شکل ۴-۴ اندازه گیری شد.



شکل ۴-۴ ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰,۰۱ گرم در آزمایشگاه دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

۴-۲-۱-۴- دستگاه پرس

نوعی ماشین ابزار است که فشار مورد نیاز برای شکل دهی اجسام را تامین می نماید. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش به صورت دستی (با استفاده از نیروی دست برای اعمال فشار بر قطعه کار استفاده می شود) است. می توان با استفاده از پیچی که در قسمت پایین دستگاه است میزان ضخامت قرص ها و با پیچی در

قسمت بالا میزان سختی قرص ها را به صورت دستی اعمال کرد. این دستگاه های پرس دارای حجم کمتری است و در آزمایشگاه ها بیشترین کاربرد را دارد. شکل ۴-۵ الف پیچ قسمت پایینی و شکل ۴-۵ ب پیچ قسمت بالایی دستگاه را نشان می دهد.



ب

الف

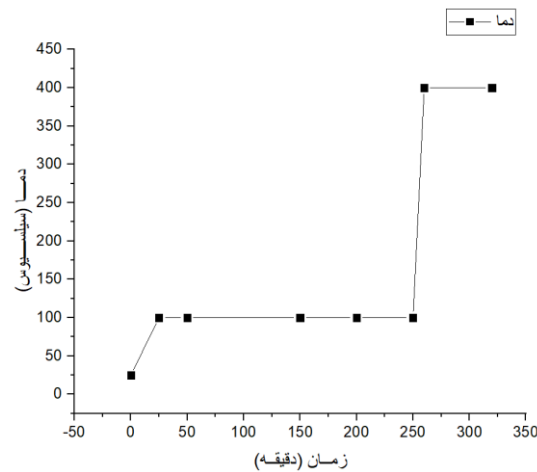
شکل ۴-۵ دستگاه پرس در دانشکده علوم پزشکی مشهد

۵-۲-۱-۴- کوره

برای استحکام قرص ها، دمای آن ها را با آهنگ $5^{\circ}\text{C} / \text{min}$ از دمای محیط تا دمای 100°C سانتی گراد افزایش دادیم. سپس به مدت ۴ ساعت در دمای 100°C سانتی گراد نگه داشته شد و پس از آن با همان آهنگ قبلی به دمای 400°C سانتی گراد رسید و به مدت یک ساعت در دمای ثابت 400°C سانتی گراد نگه داشته شد. شکل (۴-۷) نمودار دمای کوره را نشان می دهد.



شکل ۴-۶ کوره مورد استفاده شده در این پژوهش



شکل ۷-۴ نمودار دمای کوره

۴-۱-۲-۶- بوتله چینی

قرص‌ها برای پختن نیاز به ظرفی دارند تا در کوره قرار داده شوند تا در دمای بسیار بالا با مواد واکنش ندهند. به همین علت قرص‌ها در داخل بوتله چینی قرار گرفت و در کوره گذاشته شد. استقامت بوتله چینی تا دمای کمتر از ۱۰۰۰ است.



شکل ۸-۴ بوتله چینی

۴-۲- پرتودهی TLD با چشمه سزیم استاندارد و سنجش دز جذبی

بعد از ساخت قرص‌ها تمامی قرص‌های ساخته شده در دانشکده علوم پزشکی به شرکت سینا پرتو جمارسال شد تا پرتودهی شود. بعد از ارسال تمامی قرص‌ها با چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷ و دز ۱۰ mSv پرتودهی شد.

شکل ۴-۹ قرص‌های ارسال شده از شرکت سینا پرتو جم بعد از پرتودهی و گروه بندی شدن می‌باشد.



شکل ۴-۹ قرص ها بعد از پرتودهی با سزیم استاندارد ۱۳۷

۴-۳- تجهیزات و وسایل لازم برای مطالعه گرمالیانی ناشی از چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷

۱-چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷

۲-قرائت گر TLD

۳-کوره

۱-۴-۳- چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷

سزیم-۱۳۷ یا رادیوسزیم، یک ایزوتوپ رادیواکتیو سزیم است که به عنوان یکی از محصولات بیشتر شناخته شده شکافت هسته ای اورانیوم-۲۳۵ و دیگر ایزوتوپ‌های قابل شکافت در راکتورهای هسته‌ای و سلاح‌های هسته‌ای تشکیل می‌شود. این یکی از مشکل‌سازترین محصولات شکافت با عمر کوتاه تا متوسط است چرا که به راحتی حرکت می‌کند و در طبیعت به دلیل حلالیت زیاد متداول‌ترین ترکیبات شیمیایی سزیم در آب یعنی نمک‌ها، گسترش می‌یابد.

سزیم-۱۳۷ دارای نیمه عمری حدود ۳۰ سال است. ۹۴,۶٪ آن با واپاشی بتا به یک ایزومر اتمی شبه پایدار

باریم واپاشیده می‌شود. باریم-۱۳۷ باقی مانده به‌طور مستقیم باریم-۱۳۷ را جذب می‌کند که پایدار است. باریم-۱۳۷ نیمه عمر حدود ۱۵۳ ثانیه دارد و عامل تمام انتشارات اشعه گاما در نمونه‌های سزیم-۱۳۷ است. باریم فرایدار با انتشار اشعه گاما با انرژی ۰,۶۶۱۷ مگا الکترون ولت فرو می‌ریزد. به‌طور کلی ۸۵,۱ درصد از واپاشی سزیم-۱۳۷ منجر به انتشار پرتو گاما می‌شود. یک گرم سزیم-۱۳۷ دارای فعالیت ۳,۲۱۵ ترا بکرل (TBq) است.

۱-۱-۳-۴- دستگاه قرائت گر TLD

با استفاده از دستگاه قرائت گر TLD می‌توان انرژی ذخیره شده در TLD را آشکارسازی کرد. قرائت گر TLD را می‌توان بر اساس کاربردی که دارند به دو دسته زیر تقسیم‌بندی کرد.

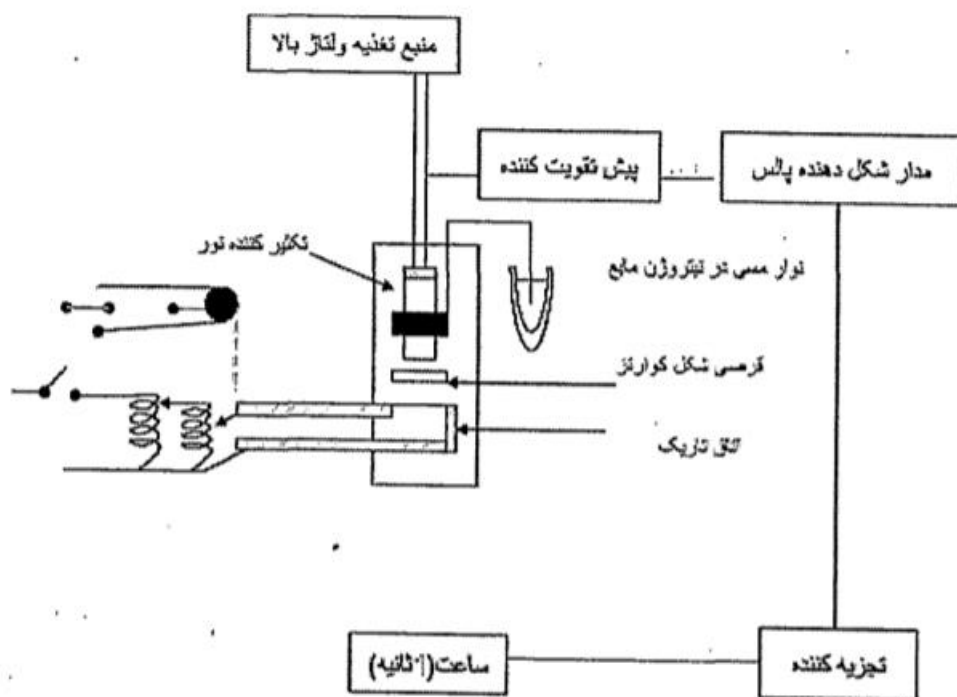
۱- در تحقیقات از قرائت گر TLD اتوماتیک ساده استفاده می‌شود.

۲- برای خوانش دز جذبی در TLD ها از TLD های اتوماتیک استفاده می‌شود که در مراکز درمانی نیز کاربرد دارد.

به دلیل وجود اکسیژن در دستگاه و ترکیب شدن آن با ماده، باعث لومینسانس شیمیایی شده که برای جلوگیری از این اتفاق از ازت که یک گاز بی‌اثر است استفاده می‌شود تا قرائت گرهای TLD به‌وسیله گاز ازت سرد شوند. دستگاه قرائت گر TLD شامل دو روش اصلی آشکارسازی نور است. لامپ‌های افزایشنده نور که از شمارش نور یا جریان جمع شدن نور استفاده می‌کنند و امکان دارد از روش‌های دیگر مثل گرمادهی تماسی، گرمادهی گاز داغ، گرمادهی نوری و گرمادهی لیزری، و... استفاده کنند.

۲-۱-۳-۴- اجزای دستگاه قرائت گر TLD

تجهیزات مورد استفاده برای اندازه‌گیری نور گسیل شده از TLD را دستگاه قرائت گر TLD (TLD Reader) می‌گویند. شکل زیر نمای کلی از این تجهیزات را بیان می‌کند.



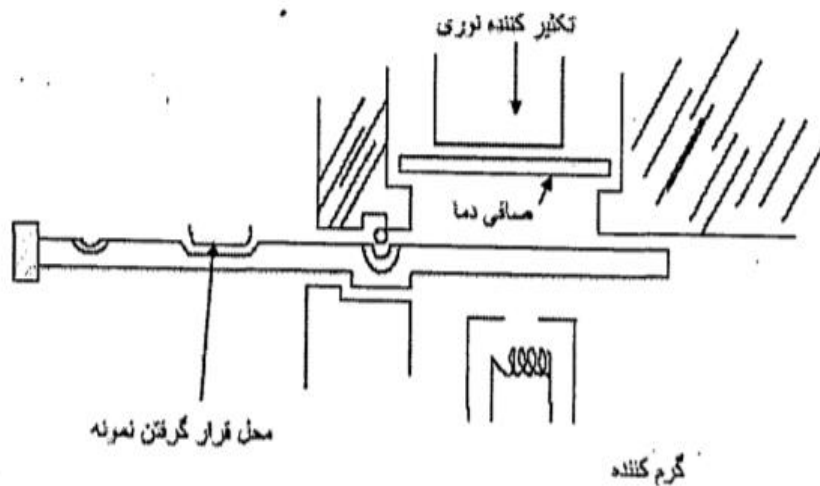
شکل ۴-۱۰ تجهیزات قرائت گر TLD برای ثبت نورهای گسیلی [۲۵]

دستگاه قرائت گر TLD در سه قسمت اصلی تقسیم بندی می شود.

۱- گرم کن (Heater)

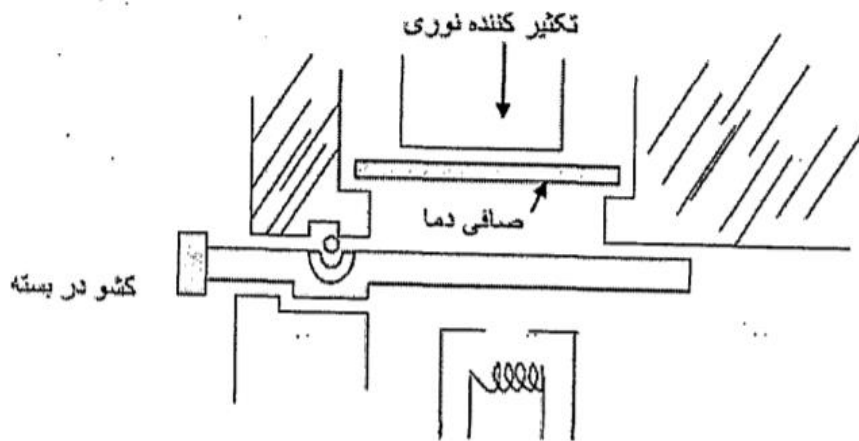
۲- لامپ افزاینده (Photo Multiplier)

۳- سیستم الکترونیک دستگاه



شکل ۱۱-۴ اجزا گرم کن در حالت کشو باز

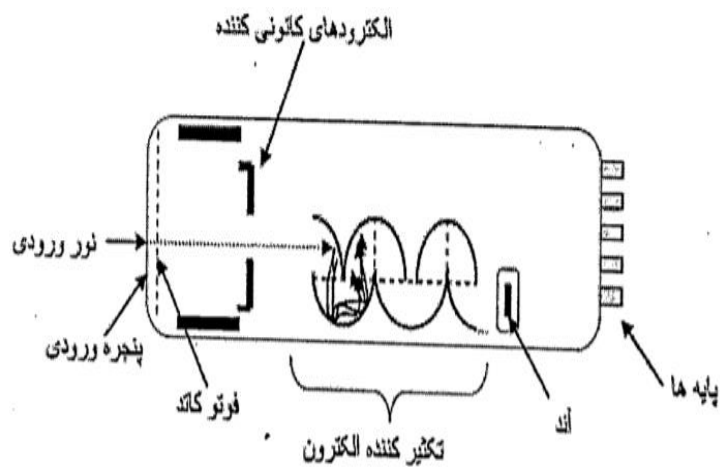
در گرم کن‌ها یک قسمت کشو مانند وجود دارد که درون آن سینی مخصوص قرار گرفتن TLD می‌باشد و برای گرم کردن این سینی فلزی از رشته‌های حرارتی استفاده می‌شود. کشو را می‌بندیم، سینی را مقابل لامپ افزایشنده نور قرار می‌دهیم و این کار باعث می‌شود TLD داخل گرم شود. زمانی که TLD و سینی را گرم می‌کنیم باعث به وجود آمدن پرتو فروسرخ می‌شود. برای مانع شدن از رسیدن این تابش به لامپ افزایشنده نور باید بین لامپ افزایشنده نور و سینی صافی گرمایی قرار دهیم تا این تابش از بیناب اندازه‌گیری شده از TLD از بین برود. زیرا اگر تابش فروسرخ به لامپ افزایشنده نور برسد، این نوع تابش هم در تابش نوری که از TLD گسیل می‌شود نیز سهمیم می‌باشد که باعث خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌شود.



شکل ۴-۱۲ اجزا گرم کننده TLD در حالت کشو بسته

۲-۲-۱-۳-۴- لامپ افزایشده نور

لامپ افزایشده نور ابزاری است که می‌توان به وسیله آن یک تپ نوری ضعیف را آشکار کرد، یا مقدار آن را تأمین کرد. شکل ۴-۱۳ نمای ساده‌ای از این لامپ را نشان می‌دهد



شکل ۴-۱۳ سیستم تکثیرکننده نوری

قسمت‌های تشکیل‌دهنده لامپ افزایشنده نور شامل پنجره ورودی فوتوکاتد، داینودها و آند می‌باشد. هرگاه یک فوتون با فوتوکاتدها برخورد می‌کند یک الکترون آزاد می‌شود که این الکترون آزاد شده به سمت اولین آندها شتاب می‌گیرد. این مورد باعث گسیل بیشتری از الکترون‌ها می‌شود. الکترون‌ها به سمت دومین داینود که از آند اولی مثبت‌تر است رفته و در آن تکثیر بهتری اتفاق می‌افتد که این پدیده چند بار اتفاق می‌افتد. در اثر برخورد زیاد الکترون‌ها تکثیر می‌شوند و در نهایت در انتهای لامپ یک تپ جریان الکتریکی تشکیل می‌شود. بعد از اینکه این جریان تقویت شد به دیگر قسمت‌ها برای تجزیه و تحلیل انتقال می‌یابد. لامپی که برای آشکار سازی فوتون‌های TLD به کار برده می‌شود باید نکات زیر را برای آن در نظر گرفت.

۱- از TLD مناسب برای جمع‌آوری فوتون‌های گسیلی استفاده شود.

۲- گستره بینایی که TLD گسیل می‌کند با گستره که آشکار می‌شود باهم همپوشانی داشته باشند.

۳- ضریب تقویت بالا، جریان تاریک کم، زمان پاسخ کوتاه داشته باشند.

لامپ افزایشنده نور توسط سیستم سردکن سرد و خنک می‌شوند. چون زمانی که TLD گرم می‌شود به دلیل نزدیک بودن لامپ افزایشنده نور به سینی گرم‌کن گرم می‌شود و در نهایت باعث افزایش جریان و تاریک شدن لامپ می‌شود.

۳-۲-۱-۳-۴- سیستم الکترونیک قرائت گر TLD

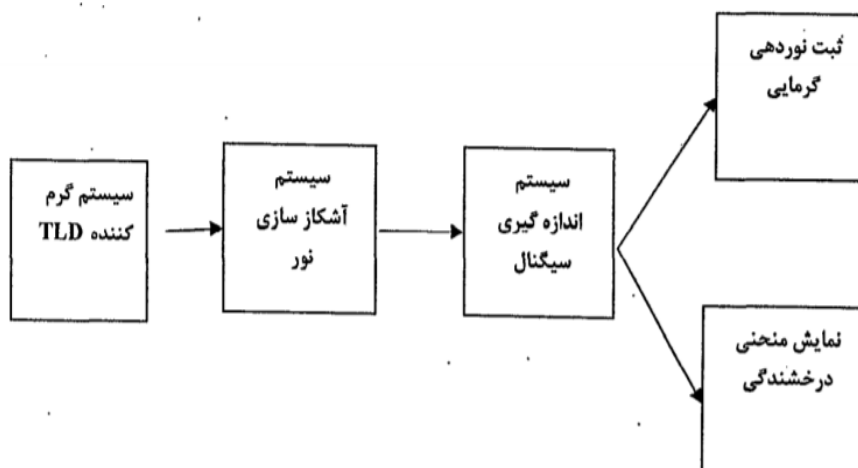
می‌توان سیستم الکترونیک دستگاه قرائت گر TLD را به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد.

۱- ولتاژ لازم برای لامپ افزایشنده نور که به وسیله دستگاه منبع تغذیه ولتاژ بالا تأمین می‌شود.

۲- جریان خروجی از لامپ افزایشنده نور که به وسیله پیش تقویت‌کننده تأمین می‌شود.

۳- دستگاه الکترونیکی که برای تجزیه و تحلیل جریان‌های حاصل از لامپ افزایشنده نور استفاده می‌شود.

از قسمت ثبت منحنی درخشندگی که می‌تواند از یک کامپیوتر یا چاپگر تشکیل شده باشد.



شکل ۴-۱۴ سیستم کلی قرائت گر TLD [۲۵]

۳-۱-۳-۴- مشخصات قرائت گر TLD مورد استفاده در این پژوهش

دستگاه قرائت گر TLD استفاده شده در تحقیقات بیشتر به صورت نیمه اتوماتیک کاربرد دارد. تمام دستورات

به وسیله نرم افزار نصب شده در کامپیوتر از طریق ورودی ۲ به دستگاه قرائت گر TLD داده می شود.

مشخصات فنی دستگاه به دودسته تقسیم می شود.

روش گرم کردن ۱- خطی ۲- پیوسته



شکل ۴-۱۵ دستگاه قرائت گر TLD

مورد استفاده در آزمایشگاه هسته ای دانشگاه صنعتی شاهرود در حالت کشو باز

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶
A	۳۴۵/۲۲	۳۲۵/۵۰	۸۰/۹۵	۲۸/۱۲		۲۰۶/۵۱
B	۲۸۷/۱۲	۱۹۴/۲۱	۱۳۴/۷۰	۱۲۸/۱۴		۱۳۸/۷۹
C	۳۴۸/۱۰	۲۴۸/۸۱	۱۳۷/۴۹	۱۲۲/۲۵	۳۸۵/۶۶	۲۵۵/۴۱
D	۲۷۸/۱۰	۳۴۴/۱۸	۱۵۹/۱۹	۸۷/۲۴	۴۵۹/۲۱	۲۲۱/۸۵
E		۳۲۸/۵۵	۱۳/۸۱	۱۱۲/۲۴		۲۵۵/۶۶
F		۲۵۲/۷۷	۱۱۵/۵۴			۱۹۸/۵۲
G		۱۳۸/۱۸				۱۶۰/۴۷
H		۲۵۲/۶۶				۱۷۷/۳۲

شکل ۴-۱۶ قرص ها بعد از خوانش در دستگاه قرائت گر TLD جهت اندازه گیری

کنترل حرارتی: تمام فرمان از طریق کامپیوتر قابل تنظیم می باشد و توانایی انجام برنامه های حرارتی زیر را دارد.

۱- در قسمت پیش گرمادهی در گستره ی دمای ۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد و زمان ۰ تا ۲۵۵ ثانیه قابل تنظیم می باشد.

۲- ثبت منحنی درخشندگی با آهنگ کم کردن ۱ تا ۲۰ درجه سانتی گراد در هر ثانیه است.

۳- باز پخت حداکثر تا دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد در گستره زمانی ۰ تا ۲۵۵ ثانیه قابل تنظیم می باشد.

ظرفیت دستگاه هر بار فقط یک قرص TLD می باشد. این دستگاه می تواند TLD را هم به صورت قرص، و پودر سرویس دهی کند.

۴-۳-۱-۴- کوره

قرص ها به دلیل وجود سیگنال های ناشی از چشمه استاندارد سزیم باید پاک سازی شوند. این کار توسط کوره در دمای زیاد انجام می شود. برای خالی شدن تمام الکترون ها و حفره هایی که در دام ها گیر افتاده اند، به دزیمتر گرمایی گرمای کافی داده شده، سپس آن را در محیط قرار داده تا به دمای محیط برسد، و به حالت اولیه اش برگردد. هدف از این کار استفاده مجدد از دزیمترهای گرمایی است.

۴-۴- نتایج پرتودهی قرص های ساخته شده باچشمه استاندارد سزیم

بعد از پرتودهی قرص ها؛ میزان دز جذب شده در قرص ها به وسیله نرم افزار نصب شده در کامپیوتر از طریق ورودی ۲ به دستگاه قرائت گر TLD خوانده شد. جدول شماره ی (۴-۲) وزن تمام قرص های ساخته شده با ترازوی آزمایشگاهی در آزمایشگاه دانشکده فیزیک که با دقت ۰,۰۱ گرم اندازه گیری شد، را بیان می کند.

• مشخصات هر ردیف استفاده شده در جداول این فصل

ردیف ۱: قطر ۸ میلی متر و ضخامت ۱,۵ میلی متر

ردیف ۲: قطر ۱۰ میلی متر و ضخامت ۱,۵ میلی متر

ردیف ۳: قطر ۱۰ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر

ردیف ۴: قطر ۸ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر

ردیف ۵: قطر ۶ میلی متر و ضخامت ۱ میلی متر

ردیف ۶: قطر ۶ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر

جدول ۴-۲ وزن قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده در این پژوهش

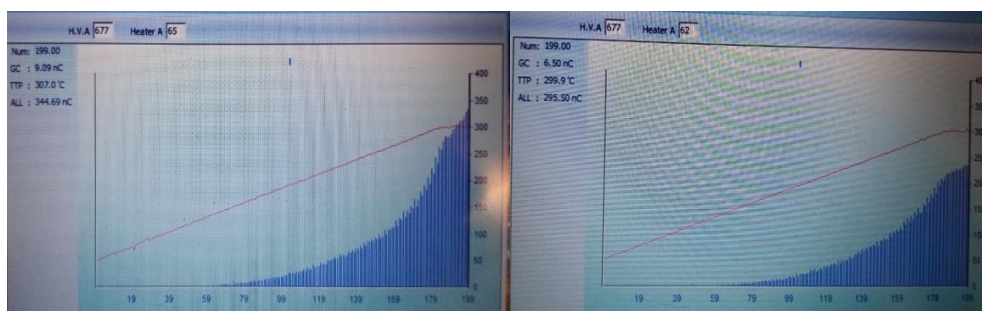
ردیف/گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
A	۰,۱۱ gr	۰,۱۹ gr	۰,۴۲ gr	۰,۳۱ gr		۰,۰۱۶ gr
B	۰,۱۳ gr	۰,۱۸ gr	۰,۴۳ gr	۰,۳۲ gr		۰,۰۱۶ gr
C	۰,۱۴ gr	۰,۱۸ gr	۰,۴۴ gr	۰,۳۳ gr	۰,۰۵ gr	۰,۰۱۶ gr
D	۰,۱۳ gr	۰,۱۹ gr	۰,۴۷ gr	۰,۲۸ gr	۰,۰۵ gr	۰,۰۱۷ gr
E		۰,۰۱۹ gr	۰,۴۸ gr	۰,۲۳ gr		۰,۰۱۸ gr
F		۰,۰۱۹ gr	۰,۴۶ gr			۰,۰۱۷ gr
G		۰,۰۱۹ gr				
H		۰,۰۱۹ gr				

جدول ۳-۴ بارکل جمع شده در خروجی PMT برحسب واحد (nC)
در دز ۱۰ mSv برای قرص‌های ساخته شده در این پژوهش

ردیف/گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
A	۳۳۴.۶۹	۲۹۵.۵۰	۸۰.۹۵	۹۷.۲۵		۲۰۴.۵۱
B	۲۸۰.۱۴۲		۱۳۴.۲۰	۱۲۸.۱۴		۱۲۸.۷۹
C	۳۳۸.۱۰	۲۸۹.۸۹	۱۳۰.۴۹	۱۲۲.۲۵	۳۸۵.۴۶	۲۰۵.۴۱
D	۲۷۸.۰۰	۳۳۴.۶۸	۱۳۹.۱۹	۸۱.۶۶	۴۳۹.۶۹	۲۲۱.۸۵
E		۳۶۸.۳۳	۱۳۰.۸۱			۲۵۳.۶۶
F		۲۵۲.۷۷	۱۱۵.۰۴			۱۶۰.۳۷
G						
H		۲۵۶.۶۹				
Average	۳۱۰.۲۳۲	۲۹۲.۱۸	۱۲۱.۷۸	۱۰۷.۳۲۵	۴۱۲.۶۹	۱۹۵.۷۶

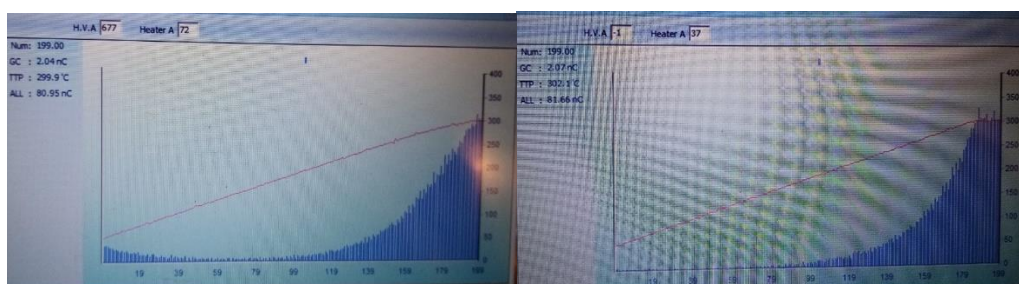
در این مرحله قرصهای کلسیم فلوراید با چشمه استاندارد سزیم ۱۳۷ تحت تابش 10 mSv پرتودهی شد و در دستگاه قرائتگر TLD به مدت ۲۰ ثانیه قرار گرفت. درحین آزمایش به دلیل ضخامت کم قرصهای ساخته شده و شکسته شدن قرصها همچنین استفاده پی‌درپی از دستگاه قرائتگر TLD و گرم شدن آن نتایج به دست آمده (بار کل جمع شده در خروجی PMT) دارای افت وخیز زیادی بود که قابل اطمینان نبودند از این جهت در محاسبات از آنها صرف نظر شد و نتایج آنها در جدول ۳-۴ بیان نشدند. جدول شماره ۳-۴ میزان بارکل جمع شده در خروجی PMT، که متناسب با انرژی ذخیره شده در قرص است و واحد آن برحسب nC است را نشان می‌دهد.

نمودارهای شکل (۴-۱۷) بارکل جمع شده در خروجی PMT متناسب با شدت نورگسیلی از هرقرص که آن خود متناسب انرژی جذب‌شده در قرص است می‌باشد. در این نمودار محور افقی نمایشگر تغییرات دمایی، و منحنی قرمز رنگ نمایشگر پروتکل دمایی است. همچنین مقدار بار کل جمع شده در خروجی PMT با مقدار دز جذب شده تناسب دارد و با توجه به نمودارهای به دست آمده هرچه ضخامت قرص کمتر باشد، بارکل جمع شده در خروجی PMT برحسب دمای قرص، بیشتر و در قرص‌ها با ضخامت بیشتر بار جمع شده در خروجی کمتر است.



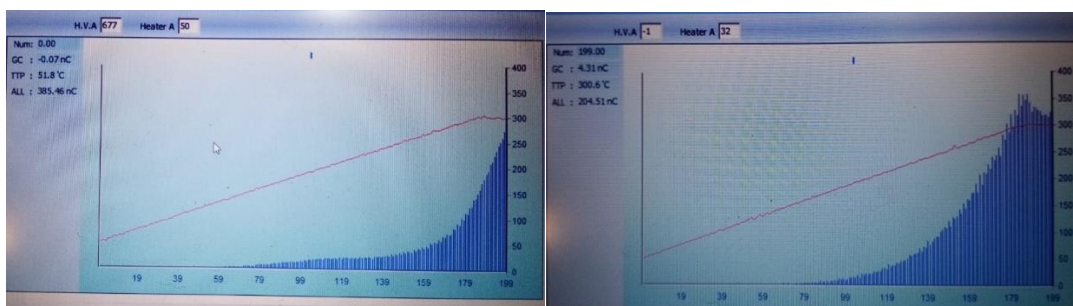
ب

الف



ت

پ



ج

ث

شکل ۴-۱۷ بارکل جمع شده در خروجی PMT برحسب دمای قرص کلسیم فلوراید
به ترتیب با ضخامت و قطر الف) ۱،۵ و ۸ ب) ۱،۵ و ۱۰ پ) ۳ و ۱۰ ت) ۳ و ۸ ث) ۱ و ۶ ج) ۳ و ۶ میلی متر

۱-۴-۴- تعیین ضریب حساسیت

بارکل جمع شده در خروجی PMT متناسب با شدت نورگسیلی از هرقرص که آن خود متناسب انرژی جذب شده در قرص است می باشد.

در این مرحله قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده بعد از قرار دادن در دستگاه قرائت گر TLD و خوانش بار کل جمع شده در خروجی PMT، توسط دستگاه ثبت شد. سپس میانگین قرائت هر کدام از قرص ها محاسبه شد و ضریب تصحیح حساسیت هر یک از المان ها (Element Correction Coefficient) که مخفف آن ECC است از رابطه (۱-۴) به دست آورده شد.

$$ECC_i = (TLD(\text{average})) / (TLD(i)) \quad (۴-۱)$$

به منظور تعیین ضریب حساسیت قرص ها با دز 10 mSv پرتو دهی شد که نتایج آن در جدول های (۴-۴) الی (۴-۹) بیان شده است.

جدول ۴-۵ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۱,۵ میلی متر

$\frac{TLD(average)}{TLD(i)}$	ECC
$\frac{292.83}{295.50}$	۰.۹۹۰۸
$\frac{292.81}{248.89}$	۱.۱۷۶۴
$\frac{292.81}{334.68}$	۰.۸۷۴۸
$\frac{292.81}{368.33}$	۰.۷۹۴۹
$\frac{292.81}{252.77}$	۱.۱۵۴۸
$\frac{292.81}{256.69}$	۱.۱۴۰۷

جدول ۴-۴ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۸ و ضخامت ۱,۵ میلی متر

$\frac{TLD(average)}{TLD(i)}$	ECC
$\frac{310.232}{344.69}$	۰.۹۰۰۳
$\frac{310.232}{280.14}$	۱.۱۰۴۷
$\frac{310.232}{338.10}$	۰.۹۱
$\frac{310.232}{278.00}$	۱.۱۱۵

جدول ۴-۷ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده با قطر ۸ و ضخامت ۳ میلی متر

$\frac{TLD(average)}{TLD(i)}$	ECC
$\frac{107.325}{97.25}$	۱.۱۰۳۵
$\frac{107.325}{128.14}$	۰.۸۳۷۵
$\frac{107.325}{122.25}$	۰.۸۷۷۹
$\frac{107.325}{81.66}$	۱.۳۱۴۲

جدول ۴-۶ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۳ میلی متر

$\frac{TLD(average)}{TLD(i)}$	ECC
$\frac{121.78}{80.95}$	۱.۵۰۴۳
$\frac{121.78}{134.20}$	۰.۹۰۷۴
$\frac{121.78}{130.49}$	۰.۹۳۳۲
$\frac{121.78}{139.19}$	۰.۸۷۴۹
$\frac{121.78}{130.81}$	۰.۹۳۰۳
$\frac{121.78}{115.04}$	۱.۰۵۸۵

جدول ۴-۸ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۱ میلی‌متر

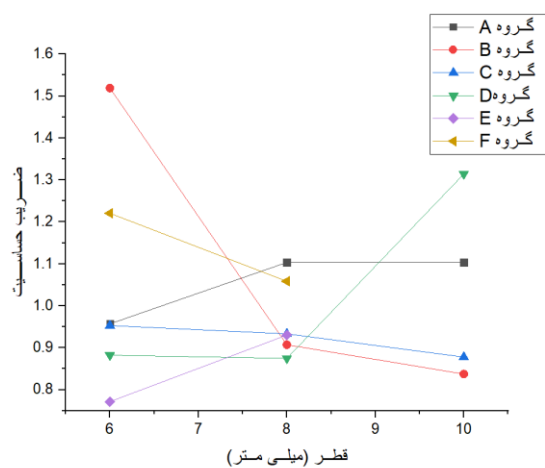
$\frac{TLD(average)}{TLD(i)}$	ECC
$\frac{412.69}{385.46}$	۱.۰۷۰۰
$\frac{412.69}{439.69}$	۰.۹۳۸۵

جدول ۴-۹ تعیین ضریب حساسیت برای قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۳ میلی‌متر

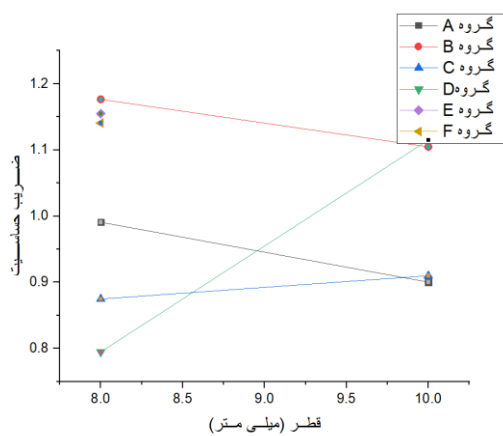
$\frac{TLD(average)}{TLD(i)}$	ECC
$\frac{195.76}{204.51}$	۰.۹۵۷۲
$\frac{195.76}{128.79}$	۱.۵۱۹
$\frac{195.76}{205.41}$	۰.۹۵۳۰
$\frac{195.76}{221.85}$	۰.۸۸۲۳
$\frac{195.76}{253.66}$	۰.۷۷۱۷
$\frac{195.76}{160.37}$	۱.۲۲۰۶

بررسی ارتباط ضریب حساسیت با قطر قرص‌ها در دز ۱۰ mSv

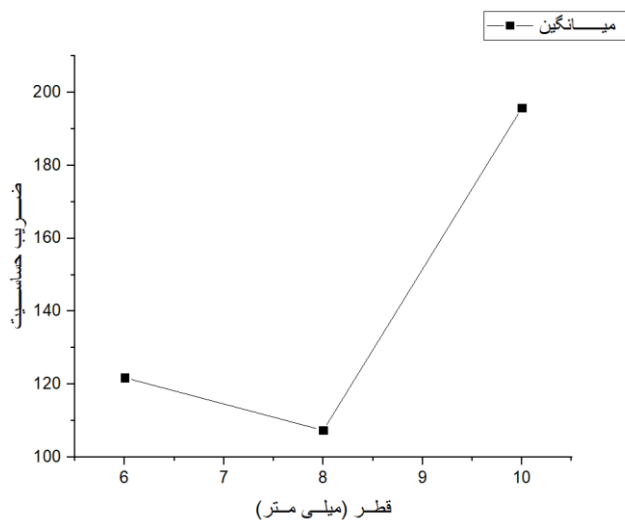
نمودارهای (۴-۱۸) و (۴-۱۹) در ضخامت یکسان ضریب حساسیت برحسب قطر قرص‌های ساخته شده را در هر گروه و نمودارهای (۴-۲۰) و (۴-۲۱) میانگین ضریب حساسیت هر گروه را برحسب قطر آن قرص‌ها نشان می‌دهد. برای قرص‌های مختلف با ابعاد متفاوت حساسیت تغییر می‌کند. از آن جایی که نور از سطح گسیل می‌شود هر چه نسبت سطح به حجم قرص بیشتر باشد دز بیشتری دریافت خواهد شد. شایان ذکر است هرچه آمار قرص‌ها بیشتر باشد مقدار میانگین بهتر است.



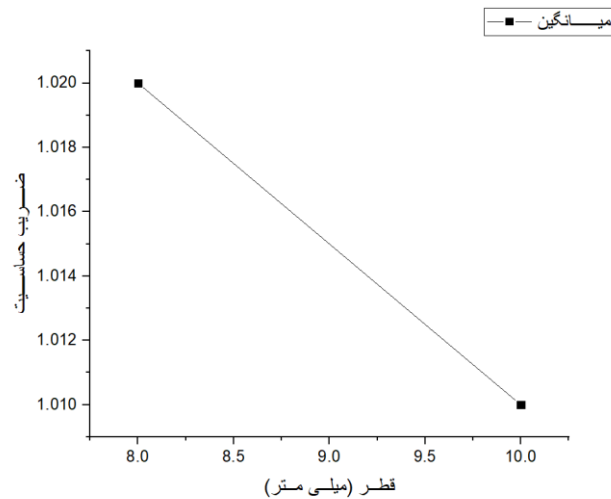
شکل ۴-۱۸ نمودار ضریب حساسیت بر حسب قطر برای قرص‌های با قطر ۸، ۶ و ۱۰ و ضخامت ۳ میلی‌متر



شکل ۴-۱۹ نمودار ضریب حساسیت بر حسب قطر برای قرص‌های با قطر ۸ و ۱۰ و ضخامت ۱,۵ میلی‌متر



شکل ۴-۲۰ نمودار میانگین ضریب حساسیت بر حسب قطر برای قرص‌های با قطر ۸، ۶ و ۱۰ و ضخامت ۳ میلی‌متر



شکل ۴-۲۱ نمودار میانگین ضریب حساسیت بر حسب قطر برای قرص‌های با قطر ۸ و ۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۱،۵ میلی‌متر

۴-۴-۲- تعیین ضریب کالیبراسیون

کالیبراسیون در دزیمتری گرمالیانی به معنی تعیین ضریب تبدیل پاسخ هر دزیمتر (مثلاً nc یا mA) به یکی از کمیت‌های دزسنجی می‌باشد. ضریب کالیبراسیون را CF می‌نامیم. سایر ضرائب تصحیح مورد نیاز احتمالی را C می‌نامند که در محاسبه ضریب کالیبراسیون ۱ در نظر گرفته شد. شرکت مهندسی و پزشکی سینا پرتو جم از روش کالیبراسیون گروهی (Batch Calibration) جهت کالیبراسیون دزیمترها استفاده کرد. دو نوع کالیبراسیون وجود دارد ۱- کالیبراسیون گروهی (در این روش تمامی TLD ها باهم پرتو دهی می‌شود و محاسبات دز با در نظر گرفتن یک بازه عدم قطعیت مثلاً ۱۰٪ انجام می‌شود) ۲- کالیبراسیون تک‌تکی (Singel calibration) در این روش با استفاده از پارامتری به نام ECC حساسیت هر دزیمتر در مقایسه با سایر دزیمترها در یک گروه به طور جداگانه تعیین و سپس محاسبات دز صورت می‌گیرد. میزان دز که به پرتو اعمال می‌شود را H می‌نامیم.

$$CF = \frac{H(Msv)}{C * TLD * ECC} \quad (۴-۲)$$

به منظور تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌ها با دز ۱۰ mSv پرتو دهی شد که نتایج آن در جدول‌های (۴-۱۰)

الی (۴-۱۵) بیان شده است. با مقایسه ضریب کالیبراسیون‌ها مشاهده گردید که، هرچه ضخامت قرص‌ها بیش‌تر ضریب کالیبراسیون نیز بیش‌تر خواهد بود و هرچه ضخامت قرص‌ها کمتر، ضریب کالیبراسیون نیز کمتر است.

جدول ۴-۹ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۸ و ضخامت ۱,۵ میلی‌متر

شماره گروه	مقدار دز (msv) H	TLD*ECC	CF
A	۱۰	۳۱۰.۳۲	۰.۰۳۲۲
B	۱۰	۳۱۰.۲۲	۰.۰۳۲۲
C	۱۰	۳۰۷.۶۷۱	۰.۰۳۲۵
D	۱۰	۳۱۹.۷	۰.۰۳۱۲

جدول ۴-۱۰ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۱,۵ میلی‌متر

شماره گروه	مقدار دز (msv) H	TLD*ECC	CF
A	۱۰	۲۹۲.۷۸	۰.۰۳۴۱۵
B	۱۰		
C	۱۰	۲۹۲.۷۹	۰.۰۳۴۱۵
D	۱۰	۲۹۲.۸۸	۰.۰۳۴۱۴
E	۱۰	۲۹۲.۷۸	۰.۰۳۴۱۵
F	۱۰	۲۹۲.۸۰	۰.۰۳۴۱۵
G	۱۰		
H	۱۰	۲۹۲.۸۰	۰.۰۳۴۱۵

جدول ۴-۱۱ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ و ضخامت ۳ میلی‌متر

شماره گروه	مقدار دز (msv) H	TLD*ECC	CF
A	۱۰	۱۲۱.۷۷	۰.۰۸۲۱۲
B	۱۰	۱۲۱.۷۷	۰.۰۸۲۱۲
C	۱۰	۱۲۱.۷۷	۰.۰۸۲۱۲
D	۱۰	۱۲۱.۷۷	۰.۰۸۲۱۲
E	۱۰	۱۲۱.۷۷	۰.۰۸۲۱۲
F	۱۰	۱۲۱.۷۶	۰.۰۸۲۱۲

جدول ۴-۱۲ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید قطر ۸ و ضخامت ۳ میلی‌متر

شماره گروه	مقدار دز (msv) H	TLD*ECC	CF
A	۱۰	۱۰۷.۳۱	۰.۰۹۳۱
B	۱۰	۱۰۷.۳۲	۰.۰۹۳۱
C	۱۰	۱۰۷.۳۱	۰.۰۹۳۱
D	۱۰	۱۰۷.۳۱	۰.۰۹۳۱

جدول ۴-۱۳ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۱ میلی‌متر

شماره گروه	مقدار دز H(msv)	TLD*ECC	CF
A	۱۰		
B	۱۰		
C	۱۰	۴۱۲,۶۸	۰,۰۲۴۲
D	۱۰	۴۱۲,۴۲	۰,۰۲۴۲

جدول ۴-۱۴ تعیین ضریب کالیبراسیون قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۶ و ضخامت ۳ میلی‌متر

شماره گروه	مقدار دز H(msv)	TLD*ECC	CF
A	۱۰	۱۹۵,۷۵	۰,۰۵۱۰
B	۱۰	۱۹۵,۶۳	۰,۰۵۱۱
C	۱۰	۱۹۵,۷۵	۰,۰۵۱۰
D	۱۰	۱۹۵,۷۳	۰,۰۵۱۰
E	۱۰	۱۹۵,۷۳	۰,۰۵۱۰
F	۱۰	۱۹۵,۷۴	۰,۰۵۱۰

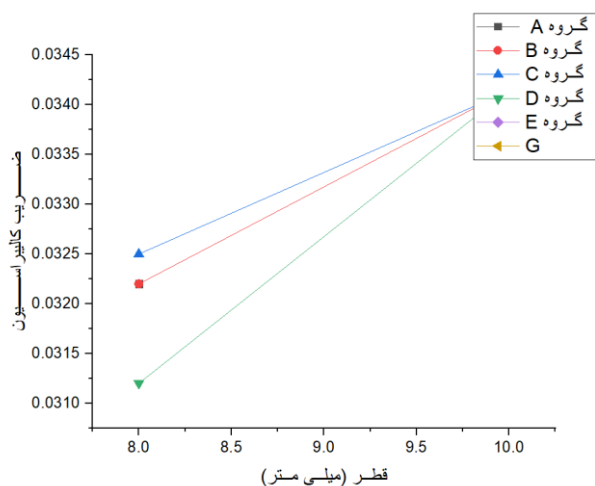
میانگین ضریب کالیبراسیون هر گروه از قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید محاسبه شد که در جدول شماره ۴-۱۶ بیان شده است.

جدول ۴-۱۵ میانگین ضریب کالیبراسیون برای هر گروه از قرص‌های ساخته شده کلسیم فلوراید

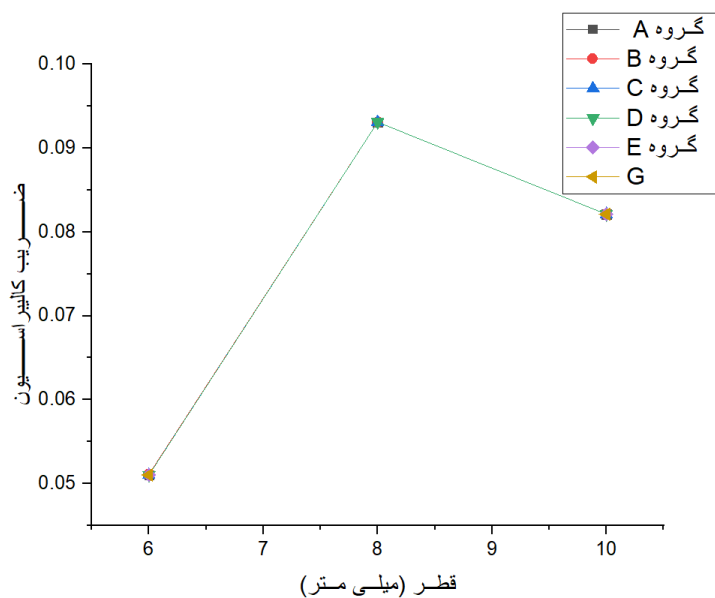
قرص های ساخته شده	میانگین ضریب کالیبراسیون
قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده در قطر ۸ میلی متر وضخامت ۱,۵ میلی متر	۰,۰۳۲۰۲
قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده در قطر ۱۰ میلی متر وضخامت ۱,۵ میلی متر	۰,۰۳۴۱۴
قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده در قطر ۱۰ میلی متر وضخامت ۳ میلی متر	۰,۰۸۲۱
قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده در قطر ۸ میلی متر وضخامت ۳ میلی متر	۰,۰۹۳۱
قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده در قطر ۶ میلی متر وضخامت ۱ میلی متر	۰,۰۲۴۲
قرص های کلسیم فلوراید ساخته شده در قطر ۶ میلی متر وضخامت ۳ میلی متر	۰,۰۵۱۰

بررسی ارتباط ضریب کالیبراسیون با قطر قرص ها در دز ۱۰ mSv

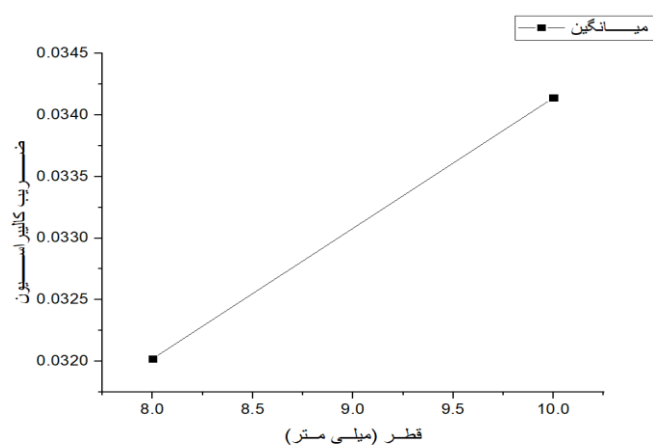
نمودارهای (۴-۲۲) و (۴-۲۳) در ضخامت یکسان ضریب کالیبراسیون برحسب قطر قرص‌های ساخته شده را در هر گروه و نمودارهای (۴-۲۴) و (۴-۲۵) میانگین ضریب کالیبراسیون هر گروه را برحسب قطر آن قرص‌ها نشان می‌دهد. با بررسی نمودارها می‌توان نتیجه گرفت برای قرص‌های مختلف با ابعاد متفاوت ضریب کالیبراسیون تغییر می‌کند.



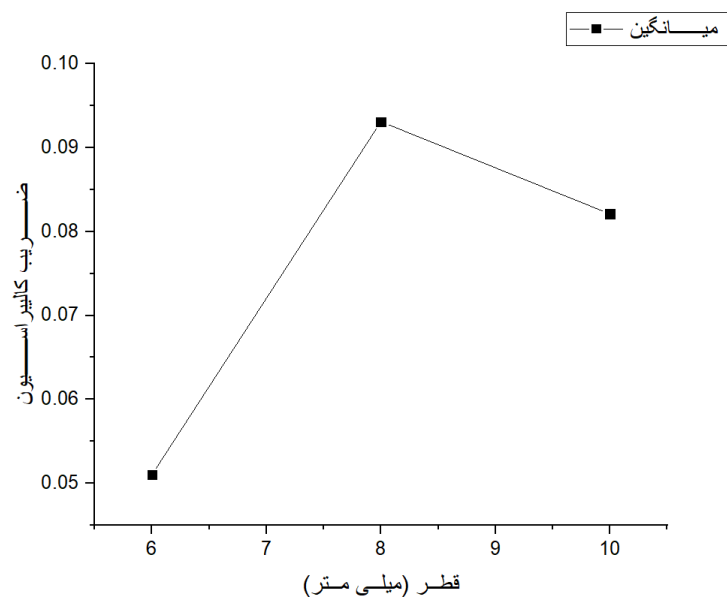
شکل ۴-۲۲ نمودار ضریب کالیبراسیون برحسب قطر برای قرص‌های با قطر ۸ و ۱۰ با ضخامت ۱,۵ میلی متر



شکل ۴-۲۳ نمودار ضریب کالیبراسیون بر حسب قطر برای قرص‌های با قطر ۸، ۶ و ۱۰ با ضخامت ۳ میلی‌متر



شکل ۴-۲۴ نمودار میانگین ضریب کالیبراسیون بر حسب قطر برای قرص‌های با قطر ۸ و ۱۰ با ضخامت ۱,۵ میلی‌متر



شکل ۴-۲۵ نمودار میانگین ضریب کالیبراسیون بر حسب قطر برای قرص‌های با قطر ۶، ۸ و ۱۰ با ضخامت ۳ میلی‌متر

۵-۴- نتیجه گیری

با استفاده از قالب‌ها و دستگاه پرس دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد، از پودر کلسیم فلوراید قرص‌هایی، با ابعاد ۶، ۸، ۱۰ میلی‌متر با ضخامت‌های ۱، ۳، ۵ میلی‌متر ساخته شد. برای استحکام قرص‌ها، دمای آنها را با آهنگ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ از دمای محیط تا دمای 100°C درجه سانتی‌گراد بالا بردیم. سپس به مدت ۴ ساعت در دمای 100°C درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد و پس از آن با همان آهنگ قبلی به دمای 400°C درجه سانتی‌گراد رسید و به مدت یک ساعت در دمای ثابت 400°C درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. پس از ساخت قرص‌ها و استحکام‌سازی آن‌ها برای اندازه‌گیری حساسیت، به شرکت سینا پرتو جم ارسال شد و کلیه قرص‌ها با چشمه سزیم 137 تحت تابش استاندارد 10mSv قرار گرفت. بعد از پرتودهی با قراردادن قرص‌ها در دستگاه قرائت‌گر TLD میزان بارکل جمع شده در خروجی PMT (برحسب nc) محاسبه شد. شایان ذکر است که بارکل جمع شده در خروجی PMT متناسب با شدت نورگسیلی از هر قرص که آن خود متناسب انرژی جذب‌شده در قرص است. از نمودارهای رسم شده می‌توان نتیجه گرفت بارکل جمع شده در خروجی PMT و حساسیت برای قرص‌ها با ابعاد متفاوت تغییر می‌کند. هر چه نسبت سطح به حجم قرص بیشتر باشد دز بیشتری دریافت خواهد شد زیرا نور از سطح گسیل می‌شود و به دلیل این که دز تابش شده با مقدار بارخروجی PMT متناسب است پس مقدار بار خروجی با سطح بیشتر و با حجم کمتر می‌شود. برای مثال با مقایسه قرص‌های کلسیم فلوراید در قطرهای یکسان و ضخامت متفاوتی (کلسیم فلوراید با قطر ۸ میلی‌متر و ضخامت ۱، ۵ میلی‌متر و قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۸ میلی‌متر و با ۳ ضخامت میلی‌متر) می‌توان نتیجه گرفت مقدار بار خروجی در قرص‌های کلسیم فلوراید با ضخامت ۱، ۵ بیشتر از قرص‌ها با ضخامت ۳ میلی‌متر است. این نتیجه در مورد قرص‌ها کلسیم فلوراید با قطر ۶ میلی‌متر و قرص‌های کلسیم فلوراید با قطر ۱۰ میلی‌متر نیز صدق می‌کند. همچنین با مقایسه ضریب کالیبراسیون قرص‌ها نتیجه می‌گیریم که هر چه ضخامت قرص‌ها بیشتر باشد ضریب کالیبراسیون نیز بیشتر است و هر چه ضخامت قرص‌ها کمتر باشد ضریب کالیبراسیون نیز کمتر است. ضریب کالیبراسیون در یک گروه از قرص‌ها برای مثال (تمام قرص‌ها با قطر ۸ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر) با هم برابرند و اختلاف بسیار ناچیزی با یکدیگر دارند. به همین دلیل با استفاده از مقادیر به دست آمده

برای ضریب کالیبراسیون این امکان فراهم می شود تا اگر دزی به قرص هایی همان گروه داده شود و میزان دز آن برای ما مشخص نباشد، با استفاده از ضریب کالیبراسیون می توان میزان دز دریافتی آن قرص را محاسبه کرد.

پیشنهادهات

۱- می‌توان در ادامه کار ضریب‌کالیبراسیون و ضریب‌حساسیت در دزهای دیگر مانند 20mSv را محاسبه کرد.

۲- می‌توان تاثیر شکل هندسی قرص را بر ضریب‌حساسیت و ضریب‌کالیبراسیون بررسی کرد.

۳- قرص‌هایی با ضخامت و قطرهای بالاتر، با دزهای متفاوت را مورد بررسی قرار داد.

فهرست منابع

- [1] Azarbajejani, G. H. (1972). Site occupancy of copper and gadolinium in PbMoO_4 single crystals. *Journal of Applied Physics*, 43(9), 3880-3882
- [2] Bull, R. K. (1986). Thermoluminescence and its applications: an introduction. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 11(1-2), 105-113.
- [3]Cameron, J. R., Suntharalingam, N., & Kenney, G. N. (1968). of Thermoluminescent Dosimetry.
- [4] Cember, H. (1983). *Introduction to Health Physics* Pergamon Press. Inc., New York.
- [5] Chen, R., & McKeever, S. W. (1997). *Theory of thermoluminescence and related phenomena*. World Scientific.
- [6] Danilkin, M., Lust, A., Ratas, A., Seeman, V., & Kerikmäe, M. (2008). Afterglow kinetics and storage mechanism in $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ (TLD-400). *Radiation measurements*, 43(2-6), 300-302.
- [7]Guimaraes, C. C., & Okuno, E. (2003). Blind performance testing of personal and environmental dosimeters based on TLD-100 and natural $\text{CaF}_2\text{:NaCl}$. *Radiation Measurements*, 37(2), 127-132.
- [8] Horowitz, Y. S. (Ed.). (2020). *Thermoluminescence & Thermoluminescent Dosimetry* (Vol. 2). CRC Press.
- [9] Knoll, G. F. (1999). *Radiation detection and measurement* 3rd Ed. New York: John Wiley&Sons.
- [10] Manrique, J., Angulo, S., Pardo, M. P., Gastesi, R., De la Cruz, A., & Perez, A. (2006). Thermoluminescence spectra of natural CaF_2 irradiated by 10 MeV electrons. *Radiation measurements*, 41(2), 145-153.
- [11] Marczevska, B., Bilski, P., Budzanowski, M., Olko, P., & Chernov, V. (2001). Dosimetry properties of Tm-doped single CaF_2 crystals. *Radiation measurements*, 33(5), 571-576.
- [12] McKeever, S. W., Moscovitch, M., & Townsend, P. D. (1995). *Thermoluminescence dosimetry materials: properties and uses*.
- [13] McKinlay, A. F. (1981). *Thermoluminescence dosimetry*. London: Taylor & Francis, 1359 AP , 270 P.
- [14] Metlyaeva, N. A., Bushmanov, A. Y., Krasnuk, V. I., Yunanova, L. A., Shcherbatykh, O. V., Samoilov, A. S., & Udalov, D. Y. (2019). Assessment of the adaptation of patients with ARS, victims of CHNPP and different radiation accidents, past psychophysiological

examination. In RAD Conference Proceedings (pp. 1-5).

[15] Nambi, K. S. V. (1977). Thermoluminescence: Its understanding and applications (No. IEA-TI-54). Instituto de Energia Atomica.

[16] Ogundare, F. O., Balogun, F. A., & Hussain, L. A. (2004). Kinetic characterization of the thermoluminescence of natural fluorite. *Radiation measurements*, 38(3), 281-286.

[17] Ponmalar, R., Manickam, R., Ganesh, K. M., Saminathan, S., Raman, A., & Godson, H. F. (2017). Dosimetric characterization of optically stimulated luminescence dosimeter with therapeutic photon beams for use in clinical radiotherapy measurements. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 13(2), 304

[18] Pagonis, V., Kitis, G., & Furetta, C. (2006). Numerical and practical exercises in thermoluminescence. Springer Science & Business Media

[19] Rahman, M. S., Lee, J. I., Kim, J. L., & Cho, G. (2013). Dosimetric properties of the newly developed LiF: Mg, Cu, Si TL material. *Journal of Scientific Research*, 5(1), 25-31.

[20] Ronda, C. R., Jüstel, T. (2008). Quantum dots and nanophosphors. *Luminescence: From Theory to Applications*/CR Ronda, T. Justel, 35-59.

[21] Salah, N., Sahare, P. D., & Rupasov, A. A. (2007). Thermoluminescence of nanocrystalline LiF: Mg, Cu, P. *Journal of Luminescence*, 124(2), 357-364.

[22] Stevens, M. A., Turner, J. R., Hugtenburg, R. P., & Butler, P. H. (1996). High-resolution dosimetry using radiochromic film and a document scanner. *Physics in Medicine & Biology*, 41(11), 2357.

[23] Suntharalingam, N., & Cameron, J. R. (1969). Thermoluminescent response of lithium fluoride to radiations with different LET. *Physics in Medicine & Biology*, 14(3), 397.

[24] Townsend, P. D., & Kelly, J. C. (1973). Colour centres and imperfections in insulators and semiconductors. Crane, Russak.

[25] Townsend, P. D. (1975). Colour centres past, present and future. *Nature*, 258(5533), 293-296.

[26] Tsoufanidis N., 1995. Measurement and detection of radiation, University of Missouri-Rolla, Second Edition. P574.

[27] زاهدی‌فر، مصطفی، هارونی. (۲۰۱۹). یک مدل جدید ترمولومینسانس با توزیع پیوسته انرژی مراکز

گیراندازی. مجله پژوهش فیزیک ایران, ۱۱(۱), ۳۹-۴۶.

[۲۸] زاهدی فر, مطصفی, صادقی, احسان, (۲۰۱۹). سنتز و مطالعه رفتار گرمایی نانو ذرات: CeCaF_2 , Tm.

مجله پژوهش فیزیک ایران, ۱۳(۳), ۳۱۳-۳۱۳.

[۲۹] یحیی آبادی, اکرم, ترکزاده, فلامرز, رضایی اوچبلاغ. (۲۰۱۷). بررسی نقش آلاینده ها و دمای بازپخت

در LiF: Mg, Cu, P . تابش و فناوری هسته ای, ۴(۳), ۳۴-۴۱.

Abstract

Everyday advances in nuclear technology and the special application of radiation and the phenomenon of thermodynamics in dosimetry have led to the development of new and inexpensive TLD materials (thermometers) with high sensitivity to ionizing radiation. There are many substances in nature that have the property of exposure to heat. Calcium fluoride is one of these substances. In this study, calcium fluoride powder prepared from Merck Company using molds and presses of Mashhad University of Medical Sciences in the form of tablets with dimensions of 6, 8 and 10 mm with thicknesses of 3.1 and 1.5 mm was made. To strengthen the tablets, we raised their temperature by $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ from ambient temperature to 100°C . It was then kept at 100°C for 4 hours and then reached the temperature of 400°C at the same rate as before and kept at a constant temperature of 400°C for one hour. After making the tablets and strengthening them to measure the sensitivity, it was sent to Sina Partoo Jam Company and all the tablets were exposed to the standard 10 mSv radiation with $^{137}\text{cesium}$ source. After irradiation, the total load collected at the PMT output (in nc) was measured by placing the tablets in a TLD reader. Then, using the obtained data, the sensitivity coefficient and calibration coefficient were calculated for different tablets with the above dimensions.

keywords

Dosimeter, germanium, calcium fluoride, sensitivity coefficient, radiation curve, calibration coefficient, dimming



College of Physics and Nuclear Engineering

Master Thesis in Nuclear Physics

Subject

Synthesis of calcium fluoride (CaF_2) TLD pellets in different sizes to measure the dose
of x-rays and gamma rays

Writer by

Fatemeh Naqdi

Supervisor

Dr. Hossein Tavakoli Anbaran

Dr. Fatemeh Masdar Ella Moore

Advisor

Ms. Somayeh Jahanfar

Mehr 1399