



دانشگاه اراک

دانشکده علوم پایه

کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

امکان‌سنجی انجام پراش نوترون در مجاورت راکتور تحقیقاتی سازمان
انرژی اتمی تهران

پژوهشگر

سعیده رضایی

اساتید راهنما

دکتر سعید حمیدی

دکتر حسین خلفی

استاد مشاور

مهندس زهرا اکبری

زمستان ۱۳۹۱



بسم الله الرحمن الرحيم

امکان سنجی انجام پراش نوترون در مجاورت راکتور تحقیقاتی سازمان
انرژی اتمی تهران

توسط:

سعیده رضایی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی
لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی فیزیک هسته‌ای

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

دکتر سعید حمیدی (استاد راهنما و رئیس کمیته)..... دانشیار

دکتر حسین خلفی (سازمان انرژی اتمی ایران)..... دانشیار

مهندس زهرا اکبری (سازمان انرژی اتمی ایران)..... مربی

دکتر رضا پورایمانی استادیار

بهمن ماه ۱۳۹۱

دل هر ذره را که بشکافی

آفتابیش در میان بینی

پیشکش دستان پرمهر خانواده‌ام

سپاس‌گزاری

سپاس و ستایش خدایی را است که مرا هدایت کرد تا در راه علم قدم بردارم و به ذهنم روشنی و به وجودم قدرت و اراده داد تا قطره‌ای از دریای علم بی‌کرانش را بشناسم، که بی‌یاری و لطف خاص او انجام این کار میسر نبود.

دست‌بوس تک‌تک اعضای خانواده‌ی پرمهرم هستم که زیر سایه‌ی زحمات و حمایت‌های بی‌دریغ‌شان سختی‌های این راه برایم قابل تحمل شد و عشق و محبت خالصانه‌شان نور امید را هر لحظه در دلم زنده نگاه می‌داشت.

از جناب آقای دکتر حمیدی استاد بزرگوارم که راهنمایی این پایان‌نامه را قبول زحمت فرموده و این بستر را فراهم آوردند تا طی انجام این پروژه در سازمان انرژی اتمی ایران به تجربه‌اندوزی بپردازم کمال تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر خلفی که به عنوان استاد راهنما در سازمان انرژی اتمی کمک شایانی به سهولت انجام پروژه‌ام نمودند قدردانی می‌کنم.

سپاس‌گزاری ویژه‌ام را به استاد مشاور و دوست خوبم سرکار خانم زهرا اکبری و نیز هم‌رشته‌ای بسیار مهربان جناب آقای مهدی منشی‌زاده تقدیم می‌کنم که با راهنمایی و کمک‌های به‌جا و دلسوزانه‌ی خود از ابتدای این مسیر تا انتها همراه و پشتیبان من بودند.

از تمام کسانی که در سازمان انرژی اتمی ایران و به‌خصوص بخش فیزیک نوترون و راکتور و نیز در دانشگاه اراک به نوعی در انجام این پروژه با من همکاری کرده و موانع کار را برطرف نمودند خالصانه قدردانی و برایشان آرزوی سلامتی و موفقیت می‌کنم. همچنین قدردان زحمات و حمایت‌های دایی گرانقدرم جناب آقای مهدی مصباح‌زاده و خانواده‌ی محترم‌شان هستم.

امیدوارم انجام این کار کوچک در ارتقای سطح علمی و فناوری کشور عزیزمان ایران سودمند واقع شود.

چکیده

پراش پودری نوترون یکی از قدرتمندترین و پرکاربردترین روش‌های پراش‌سنجی است که برای تعیین ساختار داخلی هسته‌ها، تشخیص هسته‌های سبک و مجاور و ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر، و نیز تعیین ساختار مغناطیسی هسته‌هایی که دارای ممان مغناطیسی هستند به کار می‌رود.

از آنجایی که انجام عملیات پراش نوترون معمولاً در مجاورت یک راکتور هسته‌ای امکان‌پذیر است در این تحقیق از طیف پیوسته‌ی نوترون‌ها و فوتون‌های خروجی از مجرای پراش نوترون راکتور تحقیقاتی تهران به عنوان چشمه بهره گرفته شد. فعالیت بخش پراش نوترون این راکتور از سال ۱۳۷۲ متوقف شد و برای بازراه‌اندازی آن با سوخت جدید، شبیه‌سازی جدید و به‌دست آوردن نتیجه‌ی قابل اطمینان و دقیق امری ضروری است.

شبیه‌سازی سیستم موجود با افزودن بخش‌های غایب نظیر کندکننده و فیلتر کادمیوم و کربید بور، همچنین آزمایش کارکرد صحیح سایر بخش‌های موجود با استفاده از کد MCNPX انجام شد. به منظور افزایش شار نوترون‌های حرارتی در محل نمونه، کندکننده‌های مختلفی با ضخامت‌های متفاوت آزمایش شدند که از میان آن‌ها گرافیت با ضخامت ۶۰ cm بهترین نتیجه را نسبت به بقیه ارائه داد. در مرحله‌ی بعد حفاظ بیولوژیکی با افزودن چند لایه پلی‌اتیلن و سرب به حفاظ فعلی، جهت کاهش دوز نوترون و فوتون به کمتر از دوز مجاز بهینه‌سازی شد. سرانجام شار $6/351 \times 10^5 \frac{\text{neutron}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$ برای نوترون‌های حرارتی با انرژی ۰/۰۵۷ eV جهت انجام عمل پراش روی محل نمونه به دست آمد.

فهرست

فصل اول: بررسی خواص نوترون	۱
۱-۱- خواص نوترون	۳
۲-۱- انرژی نوترون	۳
۳-۱- سطح مقطع نوترون	۴
۱-۳-۱- سطح مقطع میکروسکوپی	۵
۲-۳-۱- وابستگی سطح مقطع به انرژی	۵
۳-۳-۱- سطح مقطع ماکروسکوپی	۸
۴-۱- برهمکنش‌های نوترون با ماده	۱۰
۱-۴-۱- پراکندگی کشسان نوترون-هسته‌ای $A(n,n)A$	۱۱
۲-۴-۱- پراکندگی غیرکشسان $A(n,n')A^*$	۱۲
۳-۴-۱- گیراندازی تابشی الکترومغناطیسی (n,γ)	۱۴
۴-۴-۱- واکنش‌های گیراندازی با تولید ذرات باردار (n,α) ، (n,p) و ...	۱۴
۵-۴-۱- واکنش‌های نوترونی چند ذره‌ای	۱۵
۶-۴-۱- شکافت القایی نوترون	۱۵
۵-۱- چشمه‌های نوترون	۱۵
۱-۵-۱- چشمه‌های طبیعی	۱۶
۲-۵-۱- چشمه‌های نوترون رادیوایزوتوپی القایی	۱۶
۱-۲-۵-۱- چشمه‌های گاما-نوترون (γ,n)	۱۶
۲-۲-۵-۱- چشمه‌های آلفا-نوترون (α,n)	۱۶
۳-۵-۱- شتاب‌دهنده‌ها	۱۷
۴-۵-۱- راکتورها	۱۷
فصل دوم: پراش نوترون	۱۹
۱-۲- پراش نوترون	۲۱
۱-۱-۲- تاریخچه‌ی پراش نوترون	۲۱
۲-۱-۲- تعیین ساختار ماده و ویژگی‌های آن	۲۱
۳-۱-۲- پراکندگی، پراش و جذب	۲۲

۲۳	..... ۴-۱-۲- پدیده‌ی پراش از روی بلورها
۲۴	..... ۲-۲- نظریه‌ی موجی بودن نوترون
۲۵	..... ۳-۲- قانون براگ
۲۷	..... ۱-۳-۲- نظریه‌ی پایه
۲۸	..... ۲-۳-۲- شدت پراکندگی موج نوترونی از شبکه‌ی بلوری
۳۰	..... ۴-۲- پراش نوترون از نمونه‌ی پودری
۳۱	..... ۵-۲- مقایسه‌ی نوترون با پرتو X
۳۲	..... ۱-۵-۲- پراکندگی پرتو X و نوترون
۳۴	..... ۲-۵-۲- جذب پرتو X و نوترون
۳۶	..... ۶-۲- پراکندگی غیرهمدوس
۳۷	..... ۷-۲- پراکندگی مغناطیسی
۴۱	..... فصل سوم: آشنایی با سیستم پراش نوترون با نمونه‌ی پودری
۴۳	..... ۱-۳- مقدمه
۴۸	..... ۲-۳- کندکننده
۵۵	..... ۳-۳- موازی‌ساز
۶۰	..... ۴-۳- تک‌فام‌کننده
۶۴	..... ۵-۳- حفاظ
۶۶	..... ۱-۵-۳- پویش آزاد میانگین و سرعت واکنش
۶۷	..... ۲-۵-۳- حفاظ نوترون
۷۱	..... ۳-۵-۳- مواد مورد استفاده در حفاظ نوترون
۷۴	..... ۴-۵-۳- حفاظ پرتوهای گاما و X
۷۷	..... ۱-۴-۵-۳- پراکندگی کامپتون
۷۸	..... ۲-۴-۵-۳- اثر فوتوالکتریک
۸۰	..... ۳-۴-۵-۳- پدیده‌ی تولید جفت
۸۰	..... ۴-۴-۵-۳- ضریب تضعیف خطی و جرمی
۸۳	..... ۵-۴-۵-۳- نیمه ضخامت
۸۴	..... ۵-۵-۳- مواد مورد استفاده در حفاظ پرتوهای گاما و X
۸۵	..... ۶-۵-۳- واحدهای اندازه‌گیری پرتودهی

فصل چهارم: شبیه‌سازی سیستم پراش نوترون توسط کد MCNP و نتیجه‌گیری .. ۸۹

- ۹۱-۴-۱- آشنایی با کد MCNP ۹۱
- ۹۱-۴-۱-۱- تاریخچه ۹۱
- ۹۲-۴-۱-۲- تعاریف ۹۲
- ۹۴-۴-۱-۳- خطاها ۹۴
- ۹۵-۴-۱-۴- روش‌های کاهش واریانس ۹۵
- ۹۵-۴-۲- شبیه‌سازی سیستم موجود ۹۵
- ۹۵-۴-۲-۱- شبیه‌سازی چشمه ۹۵
- ۹۸-۴-۲-۲- شبیه‌سازی کندکننده ۹۸
- ۱۰۶-۴-۲-۳- شبیه‌سازی حفاظ ۱۰۶
- ۱۱۰-۴-۲-۳-۱- طرح شماره‌ی ۱ ۱۱۰
- ۱۱۱-۴-۲-۳-۲- طرح شماره‌ی ۲ ۱۱۱
- ۱۱۲-۴-۲-۳-۳- طرح شماره‌ی ۳ ۱۱۲
- ۱۱۳-۴-۲-۳-۴- طرح شماره‌ی ۴ ۱۱۳
- ۱۱۴-۴-۲-۳-۵- طرح شماره‌ی ۵ ۱۱۴
- ۱۱۶-۴-۲-۴- محاسبه‌ی دوز فوتون ناشی از چشمه‌ی فوتونی ۱۱۶
- ۱۱۶-۴-۲-۵- محاسبه‌ی شار نوترون‌های حرارتی در محل نمونه ۱۱۶
- ۱۱۹-۴-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۱۱۹

صفحه‌ی چکیده و صفحه‌ی عنوان به زبان انگلیسی

فهرست جدول‌ها

۱۲	جدول (۱-۱)
۴۶	جدول (۱-۳)
۵۱	جدول (۲-۳)
۵۷	جدول (۳-۳)
۶۳	جدول (۴-۳)
۶۹	جدول (۵-۳)
۷۶	جدول (۶-۳)
۸۳	جدول (۷-۳)
۸۷	جدول (۸-۳)
۹۳	جدول (۱-۴)
۹۴	جدول (۲-۴)
۹۶	جدول (۳-۴)
۹۷	جدول (۴-۴)
۹۹	جدول (۵-۴)
۱۰۰	جدول (۶-۴)
۱۰۱	جدول (۷-۴)
۱۰۲	جدول (۸-۴)
۱۰۳	جدول (۹-۴)
۱۰۴	جدول (۱۰-۴)
۱۰۵	جدول (۱۱-۴)
۱۰۹	جدول (۱۲-۴)
۱۱۰	جدول (۱۳-۴)
۱۱۱	جدول (۱۴-۴)
۱۱۳	جدول (۱۵-۴)
۱۱۴	جدول (۱۶-۴)
۱۱۶	جدول (۱۷-۴)

فهرست شکل‌ها

۴	شکل (۱-۱)
۴	شکل (۲-۱)
۶	شکل (۳-۱)
۶	شکل (۴-۱)
۷	شکل (۵-۱)
۹	شکل (۶-۱)
۱۱	شکل (۷-۱)
۱۳	شکل (۸-۱)
۲۴	شکل (۱-۲)
۲۵	شکل (۲-۲)
۲۶	شکل (۳-۲)
۲۷	شکل (۴-۲)
۲۸	شکل (۵-۲)
۲۸	شکل (۶-۲)
۳۰	شکل (۷-۲)
۳۱	شکل (۸-۲)
۳۱	شکل (۹-۲)
۳۲	شکل (۱۰-۲)
۳۳	شکل (۱۱-۲)
۳۴	شکل (۱۲-۲)
۳۵	شکل (۱۳-۲)
۳۸	شکل (۱۴-۲)
۴۴	شکل (۱-۳)
۴۵	شکل (۲-۳)
۴۷	شکل (۳-۳)
۵۰	شکل (۴-۳)

۵۲	.....	شکل (۵-۳)
۵۳	.....	شکل (۶-۳)
۵۴	.....	شکل (۷-۳)
۵۵	.....	شکل (۸-۳)
۵۷	.....	شکل (۹-۳)
۵۸	.....	شکل (۱۰-۳)
۵۸	.....	شکل (۱۱-۳)
۵۹	.....	شکل (۱۲-۳)
۶۱	.....	شکل (۱۳-۳)
۶۲	.....	شکل (۱۴-۳)
۶۴	.....	شکل (۱۵-۳)
۶۵	.....	شکل (۱۶-۳)
۶۷	.....	شکل (۱۷-۳)
۷۰	.....	شکل (۱۸-۳)
۷۱	.....	شکل (۱۹-۳)
۷۲	.....	شکل (۲۰-۳)
۷۳	.....	شکل (۲۱-۳)
۷۵	.....	شکل (۲۲-۳)
۷۵	.....	شکل (۲۳-۳)
۷۷	.....	شکل (۲۴-۳)
۷۸	.....	شکل (۲۵-۳)
۷۹	.....	شکل (۲۶-۳)
۸۰	.....	شکل (۲۷-۳)
۸۱	.....	شکل (۲۸-۳)
۸۲	.....	شکل (۲۹-۳)
۹۷	.....	شکل (۱-۴)
۹۸	.....	شکل (۲-۴)
۱۰۰	.....	شکل (۳-۴)

١٠١	شكل (٤-٤)
١٠٢	شكل (٥-٤)
١٠٣	شكل (٦-٤)
١٠٤	شكل (٧-٤)
١٠٥	شكل (٨-٤)
١٠٦	شكل (٩-٤)
١٠٧	شكل (١٠-٤)
١١١	شكل (١١-٤)
١١٢	شكل (١٢-٤)
١١٣	شكل (١٣-٤)
١١٤	شكل (١٤-٤)
١١٥	شكل (١٥-٤)
١١٧	شكل (١٦-٤)
١١٨	شكل (١٧-٤)

فصل اول:

بررسی خواص نوترون

۱-۱- خواص نوترون

فرض وجود یک ذره‌ی خنثی با جرمی مشابه با پروتون توسط رادرفورد^۱ در سال ۱۹۲۰ مطرح شد و با کشف نوترون توسط جیمز چادویک، یکی از شاگردان رادرفورد در سال ۱۹۳۲ تقویت شد. چادویک با استفاده از رخدادهای طبیعی گسیل ذره‌ی آلفا با انرژی ۵/۳ MeV از پولونیوم-۲۱۰ که با این واپاشی به سرب-۲۰۶ تبدیل می‌شود، جداسازی و تشخیص نوترون را انجام داد؛ به این صورت که ذره‌ی پرنرزی آلفا به هسته‌ی سبکی مانند ${}^9\text{Be}$ برخورد می‌کند و ضمن تشکیل هسته‌ای جدید باعث آزادسازی یک نوترون می‌شود، عمر یک نوترون آزاد در این حالت ۸۸۶/۷ s است.

از نوترون‌ها از زمان کشفشان به عنوان کاوشگرهای مهمی برای تحقیق درباره‌ی ماده چگال استفاده شده است. نوترون‌ها به خاطر ویژگی‌های خاص و متفاوتشان، بینشی درباره‌ی ساختارهای میکروسکوپی و دینامیک بخش اعظمی از مواد ارائه می‌دهند. وقتی نوترون‌ها توسط مواد پراکنده می‌شوند، نه فقط راجع به موقعیت یک اتم در ماده بلکه در مورد چیدمان اتم‌های یک ترکیب در کنار هم نیز اطلاعاتی به دست می‌دهند.

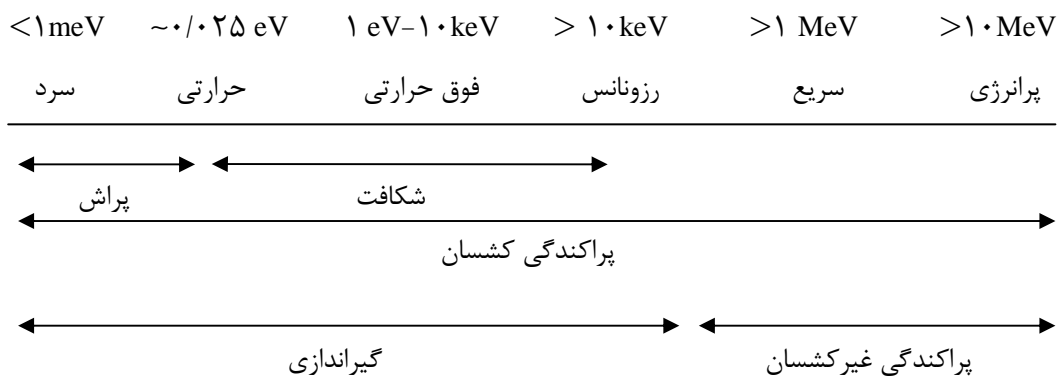
اما از ویژگی‌هایی که این امکان را برای نوترون به وجود می‌آورند می‌توان به دوگانگی موج-ذره‌ی آن اشاره کرد. اگر به خاصیت موجی آن که نتیجه‌ای از مکانیک کوانتومی است توجه کنیم، با طول موج و طول پراکندگی قابل اندازه‌گیری آن می‌توانیم الگوی تداخل و پراش را بررسی کنیم. [۱]

۲-۱- انرژی نوترون

نوترون‌های سرد و حرارتی طول موجی هم مرتبه با فواصل درون اتمی و انرژی‌ای سازگار با انرژی برانگیختگی اتمی دارند. می‌توان هر بخش از انرژی نوترون را نام‌گذاری کرد و برای یک هدف خاص به کار برد (شکل ۱-۱).

نوع هر برهمکنش توسط انرژی نوترون فرودی تعیین می‌شود. نوترون در هر بازه از انرژی خود می‌تواند برهمکنش خاصی انجام دهد که در شکل زیر این برهمکنش‌ها همراه با انرژی‌های مربوط معرفی شده‌اند.

1 - Rutherford



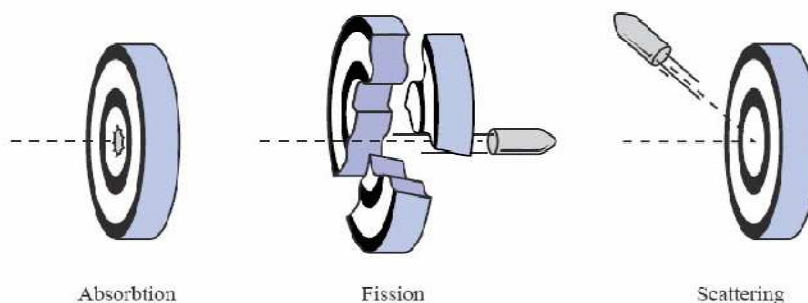
شکل (۱-۱). محدوده‌های رخدادهای هسته‌ای در بازه‌های انرژی نوترون [۲]

با دانستن این که سرعت نوترون‌ها به صورت یک توزیع ماکسولی مطرح می‌شود می‌توان معادله‌ی زیر برای اندازه حرکت نوشت [۳]:

$$P(v) \sim \frac{1}{v} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (1-1)$$

۳-۱- سطح مقطع نوترون

سطح مقطع واکنش بین نوترون و هسته، اندازه‌گیری احتمال انجام آن واکنش است. واحد آن بارن (b) است که ابعاد مساحت دارد ($1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ cm}^2$) و قابل مقایسه با اندازه‌ی هدف می‌باشد. هر نوع رخدادی احتمال و سطح مقطع خودش را دارد و احتمال هر رخداد مستقل از سایر رخدادهای است، بنابراین احتمال همه‌ی رخدادهای برابر با مجموع تک‌تک احتمالات است. به‌طور مشابه، جمع تک‌تک سطح مقطع‌ها برابر با سطح مقطع کل است. سه نوع سطح مقطع رایج برای یک واکنش را می‌توان نام برد: سطح مقطع جذب، شکافت و پراکندگی (شکل ۱-۱). (۲)



شکل (۲-۱). سطح مقطع‌های جذب، شکافت و پراکندگی. [۳]