بسم الله الرحمن الرحيم

١٣٠٧

دانشگاه بیرجند
دانشکده علوم

**پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای**

# انتخاب غلاف مناسب چشمه Am-Be در سیستم PGNAA

**اساتید راهنما**

دکتر محمدمهدی فیروزآبادی
دکتر سیدهاشم میری حکیم‌آباد

**نگارش**

تکتم کریم‌زاده

۱۳۸۸/۱۰/۲۷

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
مرکز اسناد و مدارک

شهریور ۸۸

۱۳۰۱۰۷

دانشگاه شیراز
مدیریت تحصیلات تکمیلی

# صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

فرم شماره ۱۰

با تاییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی کارشناسی ارشد خانم **تکتم کریم زاده** به شماره دانشجویی ۸۵۲۳۱۰۴۰۴۵ رشته: فیزیک گرایش: هسته ای دانشکده: علوم

**تحت عنوان : انتخاب غلاف مناسب چشمه Am-Be در سیستم PGNAA**

به ارزش: ۶ واحد درساعت: ۸ روز: سه شنبه مورخ: ۸۸/۶/۳۱

با حضور اعضای محترم جلسه دفاع و نماینده تحصیلات تکمیلی به شرح ذیل تشکیل گردید :

| سمت | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضاء |
|---|---|---|---|
| استاد راهنمای اول | آقای دکتر محمد مهدی فیروزآبادی | استادیار | |
| استاد راهنمای دوم | آقای دکتر سید هاشم میری حکیم آباد | استادیار | |
| استاد مشاور اول | | | |
| استاد مشاور دوم | | | |
| داور اول | آقای دکتر حسین فراشباشی | استادیار | |
| داور دوم | آقای دکتر محمود سخایی | استادیار | |
| نماینده تحصیلات تکمیلی | آقای دکتر هادی عربی | دانشیار | |

نتیجه ارزیابی دفاع که منوط به ارائه اصلاحات پیشنهادی توسط هیئت داوران حداکثر ظرف مدت یکماه پس از تاریخ دفاع می باشد، به شرح زیر مورد تایید قرار گرفت:

☑ قبول (با درجه: عالی و امتیاز: ۱۹ ) ☐ دفاع مجدد ☐ غیرقابل قبول

۱- عالی (۲۰-۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ – ۱۸) ۳- خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ -۱۴)

**(بدیهی است عواقب آموزشی ناشی از عدم ارائه به موقع اصلاحات مزبور به عهده دانشجو می باشد )**

کلیه مزایا اعم از چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری،
ترجمه، اقتباس و ... از پایان نامه کارشناسی
ارشد برای دانشگاه بیرجند محفوظ می‌باشد.
نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

تقدیم به پدر ومادر وهمسرم

# اول دفتر به نام ایزد منان

## تشکر و قدردانی

پروردگار را می‌ستایم که پیدایش این پژوهش را میسر گرداند. بی‌گمان، ستایش او از توان بشر بیرون و ذات او از آن بی‌نیاز است.

بدیهی است بدون راهنمایی اساتید راهنما قدم گذاشتن در این راه بسیار سخت و طاقت‌فرسا بود. لذا بر خود لازم می‌دانم از اساتید عالیقدر آقای دکتر هاشم میری وآقای دکتر محمد مهدی فیروزآبادی که قبول زحمت نمودند و راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر و امتنان را دارم.

از اساتید مدعو آقایان دکتر سخایی و دکتر فراشباشی از دانشگاه بیرجند که قبول زحمت نموده و داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند سپاسگزارم.

در ادامه از سرکار خانم لاله رفعت ، خانم عصمت‌مدار، خانم نخعی و دیگر عزیزانی که در پیشبرد اهداف این پایان‌نامه مرا یاری نمودند تشکر می‌کنم.

در نهایت لازم است از همسر خود که با تحمل تمام مشکلات مرا در این راه یاری دادند تشکر کنم.

## چکیده

گامای گسیل شده از چشمه‌های نوترون یکی از عوامل اصلی پدیدآورنده گاماهای زمینه است. روش PGNAA یک روش هسته‌ای است و بر مبنای فعالسازی عناصر با نوترون می‌باشد که گامای آنی گسیل شده را آشکارسازی می‌کند و این گاما، مشخصه اصلی عنصر خاصی می‌باشد. در این پروژه تلاش برای مهارگامای چشمه می‌باشد. به منظور کاهش شار گامای زمینه باید از حفاظی مناسب برای چشمه Am-Be استفاده کرد. برای این منظوربا توجه به سطح مقطع نوترون با عناصر متفاوت وبررسی رفتار آن می‌توان پوشش مناسب چشمه را برای هدف خاص ایجاد کرد.

در این پژوهش، با استفاده از کد محاسباتیMCNP اثر نوع حفاظ و نوع ضخامت برای افزایش شار نوترون حرارتی وکاهش شار گامای زمینه ناشی از چشمه Am-Be شبیه‌سازی شده است. علاوه بر این شار نوترون‌های خروجی از حفاظ‌های مختلف با ضخامت های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. در خاتمه پیشنهادهایی جهت انتخاب نوع وضخامت حفاظ ،هنگام استفاده از چشمه ارائه شده است.

# فهرست مطالب

عنوان صفحه


فصل اول

**برهم‌کنش نوترون وگاما با ماده**

۱-۱ برهم‌کنش نوترون با ماده وسطح مقطع‌ها ..... ۱

۱-۱-۱ سطح مقطع‌های نوترون ..... ۱

۱-۱-۲ انواع برهم‌کنش‌های نوترون ..... ۳

۱-۲ پراکندگی کشسان و کاهش انرژی نوترون ..... ۴

۱-۳ پراکندگی ناکشسان ..... ۷

۱-۴ جذب نوترون ..... ۸

۱-۵ آشکارسازی گاما ..... ۹

۱-۵-۱ اثر فتوالکتریک ..... ۹

۱-۵-۲ پراکندگی کامپتون ..... ۱۰

۱-۵-۳ تولید زوج ..... ۱۱

عنوان | صفحه

فصل دوم

## توصیف چشمه Am-Be وضرورت طراحی حفاظ


۲ -۱ چشمه‌های نوترون و نقش آنها در تولید گاماهای زمینه ..... ۱۲

۲-۱-۱ چشمه‌های نوترون متداول در استفاده از روش PGNAA ..... ۱۲

۲-۱-۲ چشمه Am-Be ..... ۱۳

۲-۱-۳ چشمه کالیفرنیم ($CF^{۲۵۲}$) ..... ۱۵

۲-۲ اصول حفاظ سازی ..... ۱۷

۲-۲-۱ تعیین حفاظ چشمه ..... ۱۸

عنوان | صفحه

## فصل سوم

## آشنایی با کد محاسباتی MCNP


۳-۱ شبیه‌سازی با استفاده از تولید اعداد تصادفی به روش مونت کارلو ..... ۲۰

۳-۲ آشنایی با کد رایانه‌ای MCNP ..... ۲۲

۳-۳ معرفی کتابخانه سطح مقطع‌ها در کد MCNP ..... ۲۳

۳-۴ آشنایی با فایل ورودی MCNP ..... ۲۴

۳-۴-۱ فایل ورودی کد MCNP ..... ۲۴

۳-۴-۲ تعریف هندسه مساله ..... ۲۴

۳-۴-۳ تعریف چشمه ..... ۲۵

۳-۴-۴ تعریف مدل حل مساله ..... ۲۵

۳-۴-۵ تعریف کارت اهمیت ..... ۲۵

۳-۴-۶ تعریف خواسته‌ها و خروجی‌های مساله (تالی‌ها ..... ۲۵

۳-۴-۷ تعریف نوع مواد داخل سلول‌ها ..... ۲۶

۳-۴-۸ شرط پایان ..... ۳۰

۳-۵ برآورد خطاهای مونت کارلو ..... ۳۰

۳-۶ روش‌های کاهش واریانس ..... ۳۲

عنوان | صفحه

فصل چهارم

## بررسی اثر ضخامت ونوع حفاظ


۴- ۱ استفاده از کد محاسباتی MCNP درپژوهش حاضر ..... ۳۵

۴-۱-۱ شبیه‌سازی چشمه Am-Be ..... ۳۶

۴-۱-۲ شبیه‌سازی حفاظ ..... ۳۶

۴-۱-۳ خروجی کد MCNP ..... ۳۸

۴-۲ بررسی اهداف پروژه ..... ۳۸

۴-۳ طیف انرژی شار نوترونهای خارج شده از حفاظهای مختلف ..... ۳۹

۴-۴ شارگاماهای خروجی از حفاظهای مختلف ..... ۴۳

۴-۵ طراحی نهایی سامانه ..... ۴۹

۴-۶ نتیجه گیری ..... ۵۴

منابع ..... ۵۵

# فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه


شکل ۱-۱ ..... ۳
شکل۲-۱ ..... ۴
شکل ۳-۱ ..... ۶
شکل ۴-۱ ..... ۷
شکل ۵-۱ ..... ۸
شکل ۶-۱ ..... ۱۱
شکل ۷-۱ ..... ۱۱
شکل ۲-۱ ..... ۱۴
شکل ۲-۲ ..... ۱۵
شکل ۲-۳ ..... ۱۶
شکل۳-۱ ..... ۲۲
شکل ۴-۱ ..... ۳۷
شکل ۴-۲ ..... ۳۷
شکل ۴-۳ ..... ۴۱
شکل ۴-۴ ..... ۴۲
شکل ۴-۵ ..... ۴۳
شکل ۴-۶ ..... ۴۴
شکل ۴-۷ ..... ۴۶
شکل ۴-۸ ..... ۴۶
شکل ۴-۹ ..... ۴۷
شکل ۴-۱۰ ..... ۴۸
شکل ۴-۱۱ ..... ۴۹
شکل ۴-۱۲ ..... ۵۱
شکل ۴-۱۳ ..... ۵۲
شکل ۴-۱۴ ..... ۵۲
شکل ۴-۱۵ ..... ۵۳

# فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۱ ..... ۵

جدول ۱-۲ ..... ۷

جدول ۲-۱ ..... ۱۳

جدول ۳-۱ ..... ۳۰

جدول ۳-۲ ..... ۳۲

# فصل اول

# برهم‌کنش نوترون و گاما

# با ماده

## ۱-۱ برهم‌کنش‌های نوترون با ماده و سطح مقطع‌ها

نوترون و پروتون اجزا تشکیل دهنده‌ی هسته‌ها هستند. چون نوترون بی‌بار است، فقط از طریق نیروهای هسته‌ای برهم‌کنش می‌کند. وقتی نوترون به یک هسته نزدیک می‌شود، بر خلاف ذرات باردار مجبور نیست که از یک سد کولنی بگذرد. در نتیجه احتمال (سطح مقطع) بر هم-کنش‌های هسته‌ای برای نوترون بیش از ذرات باردار است.

### ۱-۱-۱ سطح مقطع‌های نوترون

چون هسته‌ها کوچک هستند لذا تمام نوترون‌ها به هسته هدف برخورد نمی‌کنند بلکه تعدادی از آنها به هسته‌ها برخورد می‌کنند. N'، تعداد نوترون‌هایی که در واحد زمان به هسته‌ها برخورد می‌کنند، متناسب است با: ۱- شدت باریکه I، ۲- چگالی هسته‌های هدف N، ۳- سطحی از هدف (A) که شدت I روی آن می‌تابد و ۴- ضخامت هدف X. یعنی:

$$N' \propto INAX \qquad ۱-۱$$

حال می‌توان با اضافه کردن یک ضریب ثابت، این تناسب را به تساوی تبدیل نمود.

$$N' \sigma INAX = \sigma IN_t \qquad ۱-۲$$

که $N_t$ تعداد کل هسته‌ها است و ضریب ثابت، $\sigma$ که دیمانسیون سطح را دارد، سطح مقطع برخورد میکروسکپی نام دارد.

$$\frac{N^1}{N_t} = \sigma.I \qquad ۱-۳$$

حال اگر I را واحد فرض کنیم، $\sigma$ تعداد برخوردها با یک هسته در واحد زمان است. بعبارتی $\sigma$ احتمال برخورد با یک هسته است و می‌توان آن را برابر مساحتی دانست که هر هسته در مقابل نوترون‌ها از خود بروز می‌دهد و الزاماً برابر سطح واقعی هسته نیست. مقدار $\sigma$ نوعاً بین $10^{-22}$ تا $10^{-24}$ سانتیمتر مربع است که با واحد بارن[1] سنجیده می‌شود. هر بارن $10^{-24} cm^2$ است.

هر برخورد نوترون می‌تواند منجر به یک برهم کنش خاصی شود که با نماد زیرنویس مشخص می‌شود. مثلاً پراکندگی کشسان $\sigma_s$و... سطح مقطع کل مجموع تمام سطح مقطع‌هاست. بعبارتی احتمال کل رخداد واکنشی از هر نوع برابر با حاصل جمع همه‌ی $\sigma$ هاست.

$$\sigma_t = \sigma_s + \sigma_{in} + \sigma_a \qquad ۱-۴$$

$\sigma_t$ سطح مقطع کل

$\sigma_s$ سطح مقطع پراکندگی کشسان

$\sigma_{in}$ سطح مقطع پراکندگی غیرکشسان

$\sigma_a$ سطح مقطع جذب

---

[1] - barn

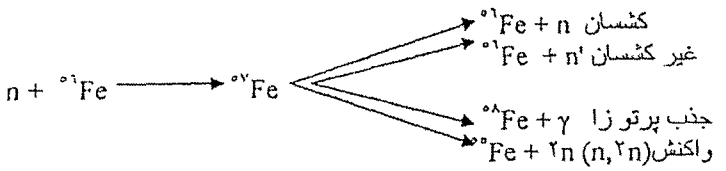
عموماً سطح مقطع تابع انرژی نوترون است در انرژی‌های پایین $\sigma_t$ را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت [۴].

$$\sigma_t = 4\pi R^2 + \frac{C}{\sqrt{E}} \qquad ۵-۱$$

که در آن R شعاع هسته، E انرژی نوترون و C یک مقدار ثابت است. جمله اول مربوط به سطح مقطع پراکندگی کشسان $\sigma_s$ و جمله دوم سطح مقطع جذب پرتوزا یا هر واکنش انرژی‌زای دیگر است. در رابطه ۱-۵ اگر جمله اول بزرگتر از جمله دوم باشد، $\sigma_t$ مقداری ثابت است. اما اگر جمله دوم بزرگتر باشد، $\sigma_t$ در این ناحیه انرژی حدوداً تابع $\frac{1}{\sqrt{E}}$ یا تابع $\frac{1}{V}$ است. اگر V سرعت نوترون باشد داریم:

$$\sigma(n,\gamma) = \frac{C}{V} \qquad ۶-۱$$

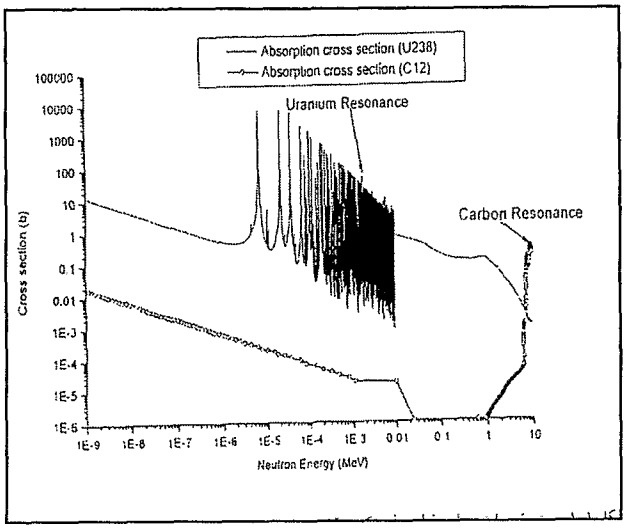
اغلب بر هم‌کنش‌های نوترونی در دو مرحله انجام می‌گیرد. اول نوترون به هسته هدف می‌چسبد و یک هسته مرکب تشکیل می‌دهد. سپس هسته هدف به طرق مختلف تجزیه می‌شود مثلاً وقتی یک نوترون ۱۰MeV به هسته آهن $^{56}Fe$ برخورد می‌کند، هسته مرکب $^{56}Fe$ بوجود می‌آید. این هسته ممکن است به یکی از روش‌های زیر تجزیه شود.




پراکندگی کشسان نتیجه اعمال نیرو از طرف هسته هدف به نوترون در ضمن عبور است این نوع پراکندگی را پراکندگی پتانسیلی می‌نامند و همانطوری که قبلاً گفته شد سطح مقطع آن از رابطه $\sigma_s = 4\pi R^2$ بدست می‌آید.

در ورای ناحیه سطح مقطع پراکندگی پتانسیلی، ناحیه تشدیدها قرار دارند. ناحیه تشدیدها ناحیه تشکیل هسته مرکب است. در تشکیل هسته‌های مرکب، برای انرژی‌های معینی سطح مقطع‌ها دارای بیشترین مقدار هستند. این سطح مقطع‌های بیشینه وقتی که انرژی نوترون‌های فرودی به اندازه‌ای باشد که هسته مرکب در یکی از ترازهای تحریکی قرار گیرد. (یعنی انرژی نوترون برابر انرژی یکی ازترازهای هسته باشد) احتمال ترکیب نوترون با هسته خیلی زیاد است. در انرژی‌های بالاتر تشدیدها آنقدر زیاد می‌شوند که دیگر نمی‌توان آنها را از هم جدا کرد[۱]. شکل ۱-۱ سطح مقطع جذب کربن ۱۴ و اورانیوم ۲۳۸ بر حسب تغییرات انرژی

نوترون را نشان می‌دهد[۲]. در انرژی‌های بالا نواحی تشدید برای عنصر اورانیـوم کـاملاً واضـح است.




**شکل۱-۱:منحنی تغییرات سطح مقطع جذب کربن۱۴ واورانیوم۲۳۸ بر حسب تغییرات انرژی[۲].**

### ۱-۱-۲ انواع برهمکنش‌های نوترون

برهمکنش‌های نوترون با هسته را به دو بخش عمده تقسیم می‌کنیم:

الف- پراکندگی

در این نوع برهمکنش، نوترون با یک هسته برهمکنش می‌کند، اما هر دو ذره پـس از واکـنش دوباره ظاهر می‌شوند. یک برخورد پراکندگی را به صورت یک واکنش (n,n) یا به صورت

$$n + {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}X + n$$

نشان می‌دهند. پراکندگی ممکن است کشسان یا ناکشسان باشد در پراکندگی کشسان انـرژی جنبشی کل دو ذره‌ی برخورد کننده پایسته است. به زبان ساده‌تر، انرژی جنبشی بـین دو ذره توزیع می‌شود. در پراکندگی ناکشسان، بخشی از انرژی به صورت انرژی برانگیختگی به هـسته داده می‌شود. پس از برخورد هسته‌ی برانگیخته با گسیل یک یا تعداد بیشتری پرتو گاما وا می پاشد.

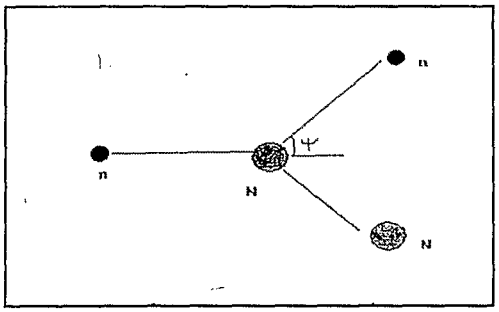
واکنش‌های پراکندگی عامل کندسازی نوترون در راکتورها هستند. انرژی میانگین نوترون‌هایی که در شکاف هسته گسیل می‌شوند ۲MeV است. احتمال اینکه نوترون شکافت القا کند، برای نوترون‌های کند «گرمایی» با انرژی‌های جنشبی از مرتبه eV، خیلی بالاتر اسـت. نـوترون‌هـای سریع انرژی جنبشی خود را بر اثر برخوردهای پراکندگی با هسته‌های ماده کندساز که معمولاً آب یا گرافیت است از دست می‌دهند[۳].

ب- جذب

اگر برهمکنش به صورت جذب باشد، نوترون ناپدید می‌شود، اما پس از واکنش یک یا تعداد بیشتری ذره دیگر ظاهر می‌شوند. در بخش‌های بعدی برهمکنش‌های نوترون با ماده را بیشتر توضیح خواهیم داد اما قبل از آن لازم است سطح مقطع‌های نوترون را مرور کنیم.

## ۱-۲ پراکندگی کشسان و کاهش انرژی نوترون

پراکندگی کشسان مهمترین فرایند برای کند کردن نوترون‌ها است در این فرایند انرژی جنبشی کل پایسته می‌ماند وقتی در سیستم مختصات آزمایشگاهی نوترون با هسته‌ی در حال سکون برخورد کشسان می‌کند، هسته از محل برخورد جابجا می‌شود پس انرژی جنبشی نوترون پراکنده شده به اندازه انرژی جابجایی هسته، از انرژی نوترون اولیه کمتر می‌شود. بنابراین نوترون‌ها در اثر برخورد کشسان حتی اگر انرژی داخلی هسته تغییر هم نکند، انرژی از دست می‌دهند. کاهش انرژی نوترون در برخورد کشسان را در سیستم آزمایشگاهی با استفاده از قوانین بقای انرژی و اندازه حرکت می‌توان بدست آورد.




شکل۱-۲:پراکندگی کشسان در سیستم آزمایشگاهی

اگر E و E' به ترتیب انرژی نوترون قبل و بعد از برخورد باشد، انرژی نوترون پراکنده شده در سیستم آزمایشگاهی به صورت معادله ۱-۷ می‌باشد.

$$E'=\frac{E}{(A+1)^2}\left[Cos\psi+\sqrt{A'-Sin^2\psi}\right]^2 \qquad ۱-۷$$

از معادله ۱-۷ می‌توان استنباط کرد:

الف- اگر برخورد مماسی باشد یعنی $\psi=0$ باشد، E=E' می‌شود

ب- اگر برخورد شاخ به شاخ باشد یعنی $\psi=\pi$ باشد، در این حالت حداقل انرژی که نوترون با خودش حمل می‌کند برابر می‌شود با:

$$E'_{Min}=\left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 E \qquad ۱-۸$$

$$E'_{Min}=\alpha E \qquad ۱-۹$$

در معادله ۱-۹، $\alpha$ را پارامتر یا پایای برخورد می‌گویند.

ج- اگر $\psi$ برابر $\frac{\pi}{2}$ باشد، نوترون پراکنده شده از روی معادله ۱-۱۰ محاسبه می‌شود.

$$\psi = \frac{\pi}{2} \Rightarrow E' = \frac{(A-1)}{(A+1)} E \qquad ۱۰-۱$$

دانستن انرژی متوسط نوترون‌هایی که به طور کشسان پراکنده شده‌اند نیز حایز اهمیت است. اما این محاسبات تا اندازه‌ای مشکل‌تر از محاسبات انرژی حداقل و حداکثر می‌باشد. می‌توان نشان داد انرژی متوسط نوترون‌های پراکنده شده از هسته‌های سبک از جمله هیدروژن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\overline{E}' \approx \frac{1}{2}(1+\alpha)E \qquad ۱۱-۱$$

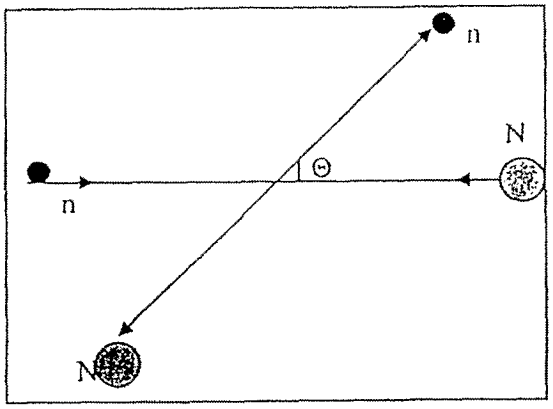
$$\Delta\overline{E}' = E - \overline{E}' = \frac{1}{2}(1+\alpha)E \qquad ۱۲-۱$$

همچنانکه دیده می‌شود مقدار انرژی که نوترون در یک برخورد کشسان از دست می‌دهد به $\alpha$ و یا به عدد جرمی A بستگی دارد. مقادیر پارامتر $\alpha$ برای چند عنصر در جدول زیر آمده است. برای هیدروژن که سبکترین عنصر است، $\alpha = ۰$ می‌باشد بنابراین نوترون در برخورد با هیدروژن بیشترین انرژی را تلف خواهد کرد.

| شماره | عنصر | عدد جرمی | α |
|---|---|---|---|
| ۱ | هیدروژن | ۱ | ۰ |
| ۲ | آب | ۱۸ | معلوم نیست |
| ۳ | دوترون | ۲ | ۰/۱۱۱ |
| ۴ | آب سنگین | ۲۰ | معلوم نیست |
| ۵ | بریلیوم | ۹ | ۰/۶۲ |
| ۶ | کربن | ۱۲ | ۰/۷۱۶ |
| ۷ | اکسیژن | ۱۶ | ۰/۷۷۹ |
| ۸ | اورانیوم | ۲۳۸ | ۰/۹۸۳ |

جدول۱-۱:مقادیر پارامتر پراکندگی بعضی از هسته‌ها

اگر پراکندگی کشسان، نوترون از یک هسته هدف را مطابق شکل ۱-۳ در سیستم مختصات مرکز جرم در نظر بگیریم، مقدار انرژی نوترون بعد از برخورد را می‌توان در این سیستم حساب کرد.



شکل۱-۳:پراکندگی کشسان در سیستم مختصات مرکز جرم

در سیستم مختصات مرکز جرم مقدار انرژی نـوترون بعـد از برخـورد از معادلـه ۱-۱۳ بدسـت می‌آید.

$$E'^2 = E^2\left[\frac{A^2+1+2ACos\Theta}{(A+1)^2}\right] \qquad ۱۳-۱$$

یادآوری می‌شود هر چند پراکندگی نوترون در دستگاه مرکز جرم همسانگرد اسـت و متوسـط زاویه پراکندگی $\Theta$ در این دستگاه ۹۰ درجه است، اما پراکندگی نوترون در دستگاه مختصات آزمایشگاهی همسانگرد نیست و می‌توان نشان داد مقدار متوسط $Cos\psi$ ($\psi$ زاویـه پراکنـدگی در سیستم آزمایشگاهی) در این سیستم مختصات به صورت معادله ۱-۱۴ است. در این رابطـه A عدد جرمی هسته پراکننده است.

$$\overline{Cos\psi} = \frac{2}{3A} \qquad ۱۴-۱$$

این رابطه نشان می‌دهد در دستگاه آزمایـشگاهی، پراکنـدگی رو بـه جلـو ارجحیـت دارد زیـرا $Cos\psi$ همیشه مثبت است در حالی که در سیـستم مرکـز جـرم پراکنـدگی در تمـام جهـات یکسان هستند[۴].

در پراکندگی کشسان فرض کردیم که هسته‌های محیط ساکن هـستند، چـرا کـه انـرژی آنهـا خیلی کمتر از انرژی نوترون‌ها است. با کند شدن نوترون انرژی آن کاهش می‌یابد و به مقداری می‌رسد که قابل قیاس با انرژی جنبشی هسته می‌شود و نهایتاً به نقطه‌ای می‌رسیم کـه دیگـر برخوردهای پراکندگی نوترون‌های حرارتی به طور متوسط اثری بر انـرژی آنهـا را نـدارد. پـس نکته مهم این است که انـرژی متوسـط نـوترون‌هـای حرارتـی بعـد از پراکنـدگی ثابـت بـاقی می‌ماند(مثل مولکولهای گاز محبوس در دمای ثابت). در جـدول ۱-۳ تعـداد برخوردهـایی کـه لازم است تا انرژی نوترون از ۱MeV به ۰/۰۲۵MeV برسد، برای چند هسته آورده شده است.