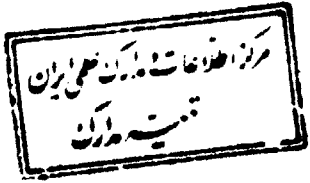


مركز ترویج و نشر کتب
تیسرا دور

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه فردوسی «مشهد»
دانشکده علوم - گروه فیزیک

اندازه گیری پیمره پاره‌های شکافت
حاصل از بمباران اورانیوم (^{238}U)
با نوترونهای سریع

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش هسته‌ای)
غلامرضا یزدی

اساتید راهنما:

دکتر محمد هادی هادی زاده یزدی
دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر حسین آفریده
سازمان انرژی اتمی ایران

داور داخلی: دکتر رحیم کوهی فائق
داور خارجی: دکتر منیژه رهبر

تشکر و قدردانی

سپاس بی حد خداوند دانا را که توفیق آموختن دانش و پی بردن به رازهای هستی را به نوع بشر ارزانی داشت و سلام و درود بر پیامبر بزرگ رحمت، که آموختن آن را بر همه مسلمانان واجب نمود ...

بعد از خواست خدای بزرگ مسلم است که بدون مساعدتها و راهنماییهای شایسته اساتید والا مقام، و دیگر مسئولین محترم که بنحوی در این مدت با اینجانب همکاری صمیمانه داشته‌اند امکان انجام این مهم مقدور نبود. و لذا من باب سخن نغزی که فرموده‌اند: من لم لشکر المخلوق لم لشکر الخالق ... لازم می‌دانم که از آقایان دکتر حسین آفریده از سازمان انرژی اتمی ایران و دکتر محمد هادی هادیزاده از دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر زحمات و راهنماییهای مؤثر و به موقع ایشان در طی انجام آزمایش تشکر و سپاسگزاری نمایم، آرزو می‌کنم که همیشه در زندگی و انجام تحقیقات علمی موفق و پیروز باشند.

از آقای دکتر رحیم کوهی فائق و خانم دکتر منیژه رهبر نیز به خاطر قبول زحمت داوری پایان‌نامه و ارائه پیشنهادهای مفید، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در اینجا لازم می‌دانم که از هیئت علمی سازمان انرژی اتمی ایران، بویژه استاد محترم آقای دکتر محمد لامعی رشتی و همچنین آقای مهندس حمید پیروان به خاطر همکاری صمیمانه و بی‌دریغشان در طی انجام پروژه، و همچنین متخصصین نرم‌افزاری کامپیوتر، خانم فرح شکوهی، و خانم پروین اولیایی، و نیز هیئت فنی سازمان انرژی اتمی ایران تشکر و قدردانی نمایم.

در خاتمه توفیق همه این عزیزان را در زندگی علمی، اجتماعی، شخصی، و... از درگاه خدای متعال

آرزو مندم.

فهرست

صفحه

فصل ۱- بررسی فرایند شکافت هسته‌ای

۲	۱-۱ تاریخچه کشف شکافت هسته‌ای
۴	۲-۱ اساس فیزیکی فرایند شکافت
۴	۱-۲-۱ مقدمه
۶	۲-۲-۱ انرژی حاصل از شکافت
۸	۳-۲-۱ سد شکافت
۱۰	۴-۲-۱ مراحل مختلف فرایند شکافت
۱۹	۳-۱ توزیع جرم محصولات شکافت
۲۱	مراجع

فصل ۲- وسایل انجام آزمایش

۲۳	۱-۲ مقدمه
۲۳	۱-۱-۲ شتابدهنده واندوگراف

۲۶	۲-۱-۲ سیستم کنترل شتابدهنده
۲۶	۳-۱-۲ اطاق آزمایش
۲۷	۲-۲ هدف اورانیم
۳۲	۳-۲ الکترونیک
۳۲	۱-۳-۲ مدار شماره ۱
۳۸	۲-۳-۲ مدار شماره ۲
۴۴	مراجع

فصل ۳- مراحل تجزیه و تحلیل طیف گاما

۴۶	۱-۳ مقدمه
۴۷	۲-۳ چشمه‌های نوترون
۴۷	۱-۲-۳ چشمه‌های ایزوتوپی
۴۹	۲-۲-۳ راکتورها
۴۹	۳-۲-۳ واکنشهای هسته‌ای
۵۰	۴-۲-۳ محاسبه انرژی نوترون حاصل از واکنش $D(d,n)^3He$
۵۲	۳-۳ محاسبه مساحت سطح خالص زیر قله فوتوالکتریک

۵۷	۴-۳ زاویه فضایی
۶۲	۱-۴-۳ محاسبه زاویه فضایی با استفاده از روش مونت کارلو
۶۶	۵-۳ کارایی آشکارساز ژرمانیم فوق خالص (HPGe)
۷۵	۶-۳ محاسبه فعالیت یک نمونه نا مشخص به روش طیف نگاری
۸۰	۷-۳ اندازه گیری شار نوترون با فعال سازی پولک
۸۸	۸-۳ موارد استفاده از شکافت هسته‌ای
۹۰	۱-۸-۳ تعاریف بهره شکافت
۹۱	۲-۸-۳ محاسبه بهره تجمعی محسولات شکافت
۹۲	۳-۸-۳ روشهای موجود برای اندازه گیری بهره‌های شکافت
۹۵	مراجع

فصل ۴- روش آزمایش و نتایج آزمایش

۹۷	۱-۴ روش آزمایش
۱۰۳	۲-۴ نتایج آزمایش

فصل ۱ - بررسی فرایند شکافت هسته‌ای

۱-۱ تاریخچه کشف شکافت هسته‌ای

۲-۱ اساس فیزیکی فرایند شکافت

۱-۲-۱ مقدمه

۲-۲-۱ انرژی حاصل از شکافت

۳-۲-۱ سد شکافت

۴-۲-۱ مراحل مختلف فرایند شکافت

۳-۱ توزیع جرم محصولات شکافت

فصل ۱ - بررسی فرایند شکافت هسته‌ای

۱-۱ تاریخچه کشف شکافت هسته‌ای

کشف شکافت هسته‌ای، نه یک امر اتفاقی، بلکه نتیجه تلاش و بررسی منطقی نتایج آزمایش‌های مختلف بود. بعد از کشف نوترون به وسیله چادویک (Chadwick) در سال ۱۹۳۲/۱۳۱۱، و کشف عناصر رادیو اکتیو مصنوعی توسط کوری (Curie) و ژولیو (Joliot) در سال ۱۹۳۴/۱۳۱۳، انریکوفرمی (Ernico Fermi) و همکارانش در ایتالیا آزمایش‌هایی برای تولید عناصر رادیواکتیو مصنوعی با استفاده از نوترون ترتیب دادند. آنها تقریباً تمام عناصر شناخته شده را با نوترون بمباران کرده و رادیواکتیویته حاصل از گیراندازی نوترون را مطالعه کردند. در این آزمایش‌ها آنها دریافتند که در اثر گیراندازی نوترون، در هسته‌های زیادی برای جبران نوترون اضافی یک نوترون به پروتون تبدیل شده و همراه با آن β^- گسیل می‌شود. بنابراین هسته باقیمانده عدد اتمی آن یک واحد بیشتر از هسته اولیه است (فرمی برای این کار در سال ۱۹۳۸/۱۳۱۷ جایزه نوبل فیزیک را دریافت کرد). اما در بمباران اورانیم با نوترون نتایج عجیبی بدست آمد. فرمی و همکارانش در نتایج آزمایش با اورانیم، به جای یک عنصر رادیواکتیو، چهار عنصر با چهار نیمه عمر متفاوت پیدا کردند. چون تا آن موقع فقط سه ایزوتوپ اورانیم شناخته شده بود، یکی از عناصر حاصله را به اشتباه عنصر ۹۳ تصور کردند. با توجه به اینکه بررسی‌ها نشان می‌داد که رادیواکتیویته جدید هیچکدام از ایزوتوپ‌های عنصر رادون (۸۶) تا اورانیم (۹۲) نیست، آنها در سال ۱۹۳۴/۱۳۱۳ اعلام کردند که ممکن است عنصر ۹۳ را تولید کرده باشند.

در طی این سالها، مقالات فرمی و همکارانش مورد توجه مایتنر (Meitner)، هان (Hahn) و اشتراسمان (Strassman) قرار گرفت. آنها نیز آزمایشهای فرمی را در برلین تکرار کردند. مایتنر، هان و اشتراسمان در آزمایشهای خود از روش شاخص گذاری (Indicator) استفاده کردند، اما بنظر می‌رسید که کوشش آنها برای حل مسئله ایزوتوپ ناشناخته، نظر فرمی را تأیید می‌کند.

به موازات کار گروه برلینی ایرن کوری، ژولیو و ساویتچ (Savitch) در پاریس روی بمباران توریم با نوترون کار می‌کردند. در مه (May) سال ۱۹۳۵/۱۳۱۴، کوری، هالبان (Halban) و پرسورک (Preiswerk) یک عنصر رادیواکتیو با نیمه عمر ۳ ساعت و ۵ دقیقه را که از لحاظ شیمیایی شبیه لانتانیم بود پیدا کردند، و تصور نمودند که این عنصر ایزوتوپ اکتینیم است. در سالهای ۱۹۳۷/۱۳۱۶ و ۱۹۳۸/۱۳۱۷ گروه پاریسی در طی بمباران اورانیم با نوترون دو باره یک عنصر با نیمه عمر ۳ ساعت و ۵ دقیقه را پیدا کردند، که از لحاظ شیمیایی شبیه لانتانیم بود. برای آنها عجیب بود که عنصری شبیه لانتانیم بعد از اورانیم در جدول تناوبی وجود داشته باشد. در سال ۱۹۳۸/۱۳۱۷ هان و اشتراسمان (در این موقع مایتنر آلمان را ترک کرده بود) آزمایشهای خود را تکرار کردند و در طی این آزمایشها، عناصری را که تصور می‌کردند چهار ایزوتوپ رادیم است، پیدا کردند.

این نتیجه نامعقول می‌نمود زیرا برای تولید رادیم از اورانیم باید دو α گسیل می‌شد و این از لحاظ انرژی قابل قبول نبود. هان و اشتراسمان کار خود را روی ایزوتوپهایی که تصور می‌کردند رادیم است، و عنصر ۳ ساعت و ۵ دقیقه‌ای کوری و ساویتچ متمرکز کردند. آنها با استفاده از روشهای رادیوشیمیایی خیلی دقیق یقین پیدا کردند که آنچه تصور می‌کردند ایزوتوپ رادیم است در واقع باریم بوده و عنصر ۳ ساعت و ۵ دقیقه‌ای کوری و ساویتچ که تصور می‌کردند اکتینیم است در حقیقت لانتانیم بوده است [۱]. بنابراین نتیجه گرفتند که با بمباران عناصر سنگین توسط نوترون، طی فرایند ناشناخته ای عناصر سبکتر بوجود می‌آیند که این فرایند ناشناخته را اولین بار مایتنر و فریش در سال ۱۹۳۹/۱۳۱۸ شکافت نامیدند [۲].

۲-۱ اساس فیزیکی فرایند شکافت

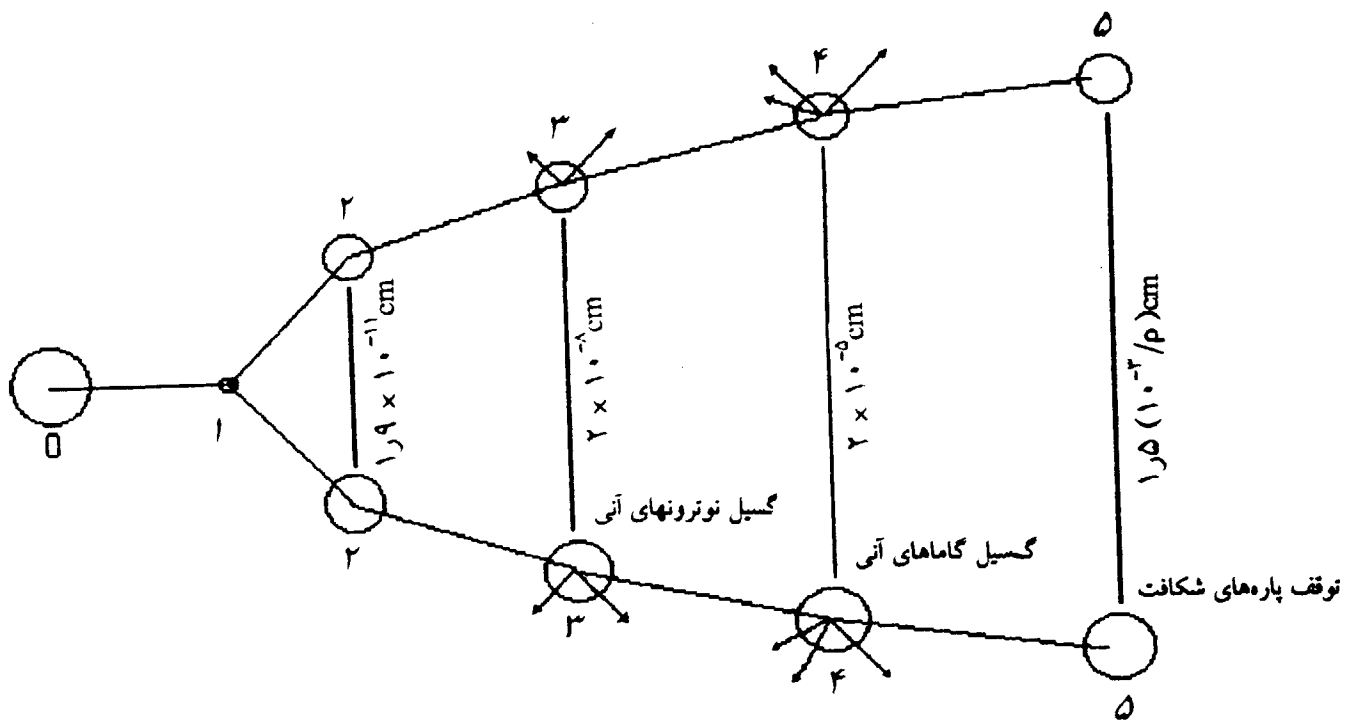
۱-۲-۱ مقدمه

شکافت هسته‌ای پدیده‌ای کاملاً پیچیده است. و با وجودی که از کشف آن مدت زیادی می‌گذرد و روی آن مطالعات زیادی هم انجام شده - که غالباً آزمایشگاهی بوده‌اند - ، اما هنوز بطور کامل شناخته نشده در واقع می‌توان گفت تاکنون هیچ نظریه‌ای که بتواند تمام جنبه‌های شکافت هسته‌ای را توجیه کند، ارائه نشده است. چنین فرایندی بعلت انرژی بسیار زیادی که در طی آن آزاد می‌شود، اهمیت بسزائی دارد.

شکافت هسته‌ها یک پدیده کاملاً تجمعی است، بطوریکه هسته‌ها تحت تاثیر یک رشته نوسان‌های شدید تغییر شکل پیدا کرده، و این تغییر شکل منجر به شکسته شدن آنها به دو پاره شکافت تقریباً هم جرم می‌شود. این شکستگی را انقطاع می‌نامند. در نقطه انقطاع ممکن است بیشتر از دو پاره شکافت نیز بوجود آید.

بعد از نقطه انقطاع، نیروی دافعه کولنی پاره‌های شکافت، بیشتر از نیروی جاذبه هسته‌ای آنها شده و پاره‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند، و در خلال آن با گسیل نوترون و پرتو γ به حالتی با عمر طولانی و یا حالتی پایه واانگیخته می‌شوند. فرایند واانگیختگی اولیه را فرایند آنی (Prompt) می‌نامند. پاره‌های شکافت حتی اگر در حالت پایه‌شان تشکیل شوند معمولاً دور از خط پایداری بتا (β) هستند. بنابراین آنها با گسیل بتا، گاما، و یا نوترون به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شوند. این فرایندها را فرایندهای تاخیری می‌نامند.

مقیاس زمانی مراحل مختلف شکافت در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. در این شکل، مقیاس افقی، زمان بقای مراحل مختلف، و مقیاس عمودی، فاصله بین پاره‌های شکافت را نمایش می‌دهد [۳].



$$| - 10^{-14} s - | - 10^{-20} s - | - 10^{-17} s - | - 2 \times 10^{-14} s - | - (15/p) \times 10^{-17} s - |$$

شکل (۱-۱) - نمایش فرایند شکافت. رویدادهای عبارتند از:
 ۰- شکل‌گیری حالت اولیه ۱- شکافت (یا بطور دقیقتر، انقطاع) ۲- پاره‌های شکافت ۱۰٪ از انرژی خود را از دست می‌دهند ۳- گسیل نوترونهای آبی ۴- گسیل گاماهاى آبی ۵- توقف پاره‌های شکافت و واپاشی آنها توسط فرایندهای تاخیری.

مرحله ۰، حالت اولیه هسته، و مرحله ۱، نقطه انقطاع (Scission) را نمایش می‌دهد؛ فاصله زمانی بین این دو مرحله تقریباً 10^{-14} s است. بعد از نقطه انقطاع، قسمتهای حاصله از شکافت هسته اولیه، در فاصله زمانی بسیار کوتاه $1/3 \times 10^{-20}$ s به اندازه $1/9 \times 10^{-11}$ cm از یکدیگر دور می‌شوند و در این فاصله حدوداً ۱۰٪ از انرژی خود را از دست می‌دهند. در مدت زمان تقریباً 10^{-17} s سیستم از مرحله ۲ به مرحله ۳ می‌رسد. در این حالت، فاصله بین تقسیمات شکافت تقریباً 2×10^{-8} cm است. تقسیمات شکافت در مرحله ۳، از خود نوترون آبی گسیل می‌کنند. در مرحله ۴، که 2×10^{-14} s بعد از مرحله ۳ اتفاق می‌افتد، فاصله تقسیمات شکافت تقریباً 2×10^{-5} cm است؛ در این حالت آنها از خود گامای آبی گسیل می‌کنند. بعد از این مرحله، در مدت زمان تقریباً

$10^{-12} \times (15/p)$ ، فاصله بین تقسیمات شکافت به $(10^{-3}/p) \times 1/5$ چگالی محیطی است که تقسیمات شکافت در آن حرکت می کنند و بر حسب g/cm^3 است) رسیده و متوقف می شوند. در این مرحله تقسیمات شکافت را پاره های شکافت (Fragments) می نامند. این پاره های شکافت چون دارای نسبت نوترون به پروتون بالایی هستند (این نسبت تقریباً مساوی نسبت نوترون به پروتون هسته اولیه است)، با گسیل β به حالت پایه و یا برانگیخته وامی پاشند. هسته هایی که در حالت برانگیخته بوجود آمده اند با گسیل گاما به حالت پایه واپاشی می کنند. در این مرحله بدلیل اینکه پاره های شکافت به سنگینی هسته اولیه نیستند، گسیل آلفا نخواهیم داشت [۳]

۲-۲-۱ انرژی حاصل از شکافت

دلیل اهمیت بررسی فرایند شکافت، انرژی زیاد حاصل از آن است. در شکل (۲-۱) مشاهده می شود که انرژی بستگی بر نوکلئون هسته ها در اعداد جرمی حدود ۶۰ تا ۸۰ بیشینه است و با افزایش عدد جرمی، انرژی بستگی بر نوکلئون کاهش پیدا می کند. [۴].

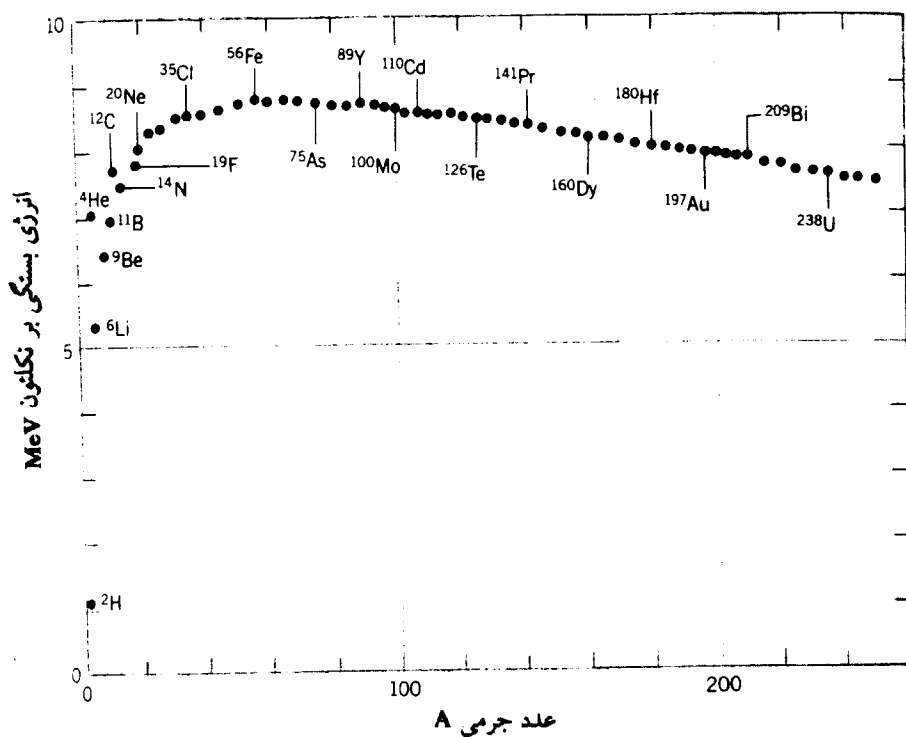
اگر یک هسته سنگین (A, Z) به وسیله نوترون به دو پاره شکافت سبکتر $Y_1(A_1, Z_1)$ و $Y_2(A_2, Z_2)$ تبدیل شود، باتوجه به شکل، انرژی بستگی پاره های شکافت بیشتر از انرژی بستگی هسته اولیه خواهد بود. بنابراین در طی این فرایند مقداری انرژی آزاد می شود، که از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q = T_{Y_1} + T_{Y_2} - T_n = [M(A, Z) + M_n - (M_{Y_1} + M_{Y_2})] C^2 \quad (1-1)$$

$$-B_{\text{tot}}(Y_1) + B_{\text{tot}}(Y_2) - B_{\text{tot}}(A, Z)$$

که در آن انرژی جنبشی با T و انرژی بستگی کل با B نشان داده شده است. این انرژی تقریباً ۸۰٪ کل انرژی است که در طی فرایند شکافت آزاد می شود. انرژی کل حاصل از فرایند شکافت، شامل انرژی β و γ ها نیز می باشد. انرژی کل از رابطه زیر محاسبه می شود،

$$Q = B_{\text{tot}}(Y_1) + B_{\text{tot}}(Y_2) - B_{\text{tot}}(A, Z) \quad (2-1)$$



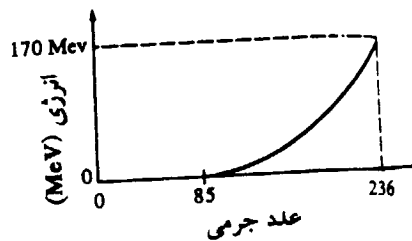
شکل (۳-۱) - انرژی بستگی بر نکلئون

که در آن α_1 و α_2 تولیدات شکافت در حالت پایه هستند [۵]. به عنوان مثال اگر هسته توریم ^{232}Th به دو هسته مساوی با $A=116$ تقسیم شود، برای انرژی حاصل از این شکافت متقارن خواهیم داشت.

$$Q = 2B_{\text{tot}}(A=116) - B_{\text{tot}}(A=232) = 2(116)B(A=116) - 232B(A=232)$$

$$= 2(116)(8.5) - 232(7.8) = 162.4 \text{ MeV} \quad (3-1)$$

با استفاده از فرمول نیمه تجربی جرم، ملاحظه می‌شود که Q برای هسته‌های با $A > 85$ و یا $Z^2/A > 17$ مثبت است، بنابراین فرایند شکافت این هسته‌ها از لحاظ انرژی مفید است [۶]. انرژی اولیه آزاد شده در طی فرایند شکافت، برحسب عدد جرمی هسته شکافت‌پذیر در شکل (۳-۱) نشان داده شده است [۷].



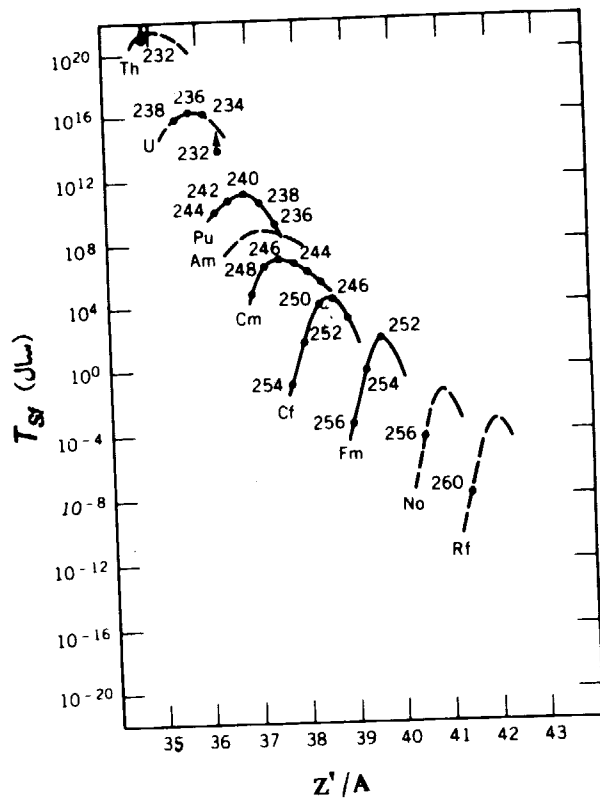
شکل (۱-۳) - انرژی آزاد شده اولیه بر حسب عدد جرمی

۳-۲-۱ سد شکافت

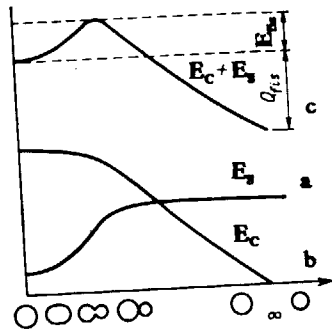
همانطور که در بخش قبل ذکر شد، شکافت هسته‌های سنگین یک فرایند انرژی‌زاست. بنابراین یکی از راههای واپاشی می‌تواند شکافت خودبخودی هسته‌ها باشد.

در حقیقت شکافت خودبخودی بعضی هسته‌های فرا اورانیم مشاهده شده است، اما برای هسته‌های سبکتر نیمه عمر این فرایند، طولانی‌تر از عمر جهان است. در شکل (۱-۴) عمر شکافت خودبخودی عناصر بر حسب Z^2/A نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که عمر شکافت خودبخودی ^{238}U در حدود 10^{16} سال است. دو عامل مهم، بر رفتار هسته در طی فرایند شکافت اثر می‌گذارد. یکی نیروی جاذبه هسته‌ای بین نوکلئونها که انرژی سطحی E_s را بوجود می‌آورد، و دیگری نیروی دافعه کولنی که انرژی کولنی E_c را بوجود می‌آورد. نحوه تغییرات این دو انرژی بر حسب تغییر شکل هسته مطابق شکل (۱-۵) است.

انرژی هسته شکافت پذیر در مدت تغییر شکل آن، حاصل جمع دو انرژی E_s و E_c است. همانطور که در شکل (۱-۵) مشاهده می‌شود هسته شکافت پذیر دارای یک سد پتانسیل است، بنابراین پایداری هسته‌ها در مقابل شکافت، ناشی از این سد پتانسیل است. تغییرات انرژی اکتیو شدن شکافت بر حسب عدد جرمی، در شکل (۱-۶) نشان داده شده. باتوجه به زیاد بودن انرژی اکتیو شدن عدد جرمی ^{238}U ، نتیجه می‌شود که عنصر ^{238}U با نوترونهای سریع شکافت پیدا می‌کند [۸].



شکل (۴-۱) عمر شکافت خودبخود عناصر بر حسب Z/A



شکل (۵-۱) - a و b - منحنی‌های تغییرات انرژی سطحی E_s و انرژی کولنی E_c بر حسب تغییر شکل سد پتانسیل شکافت که مجموع دو انرژی E_c و E_s است. در این شکل E_{tot} انرژی اکتیوینه شکافت و Q_{tot} انرژی آزاد شده در طی فرایند شکافت است.