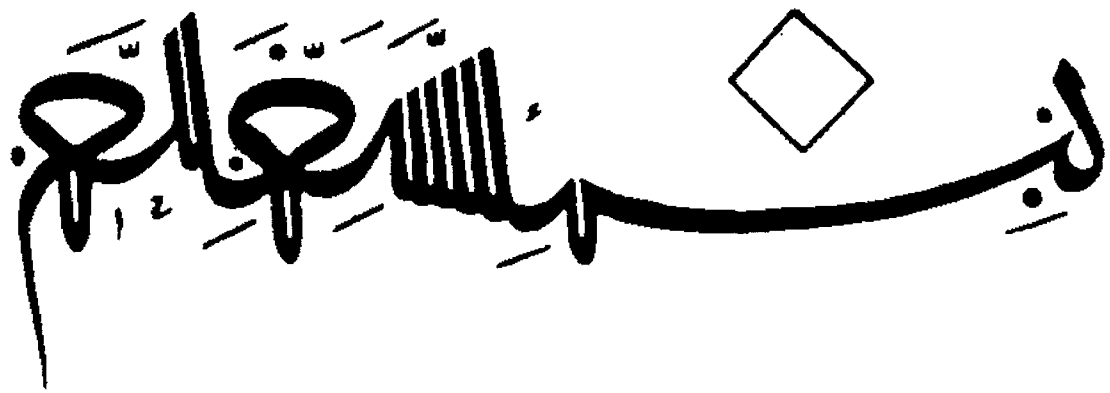

١٠٢٦٤٧

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش آزاد

توزیع ^{40}K ، ^{232}Th، ^{238}U و ^{137}Cs در برخی مناطق سواحل دریای خزر

استادان راهنما:

دکتر اسماعیل حسن‌زاده

دکتر محمدرضا عبدی

۱۳۸۷/۱۵/۲۸

پژوهشگر:

حمیدرضا راجی

اسفندماه ۱۳۸۶

۱۰۲۶۴۷

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه
متعلق به دانشگاه اصفهان است.

شیوه نگارش پایان نامه
رعایت شده است.
تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش آزاد آقای حمیدرضا راجی

تحت عنوان

توزیع ^{40}K ، ^{232}Th، ^{238}U و ^{137}Cs در برخی مناطق سواحل دریای خزر

در تاریخ ۸۶/۱۲/۲۵ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه دکتر اسماعیل حسن‌زاده با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۲- استاد راهنمای دوم پایان‌نامه دکتر محمدرضا عبدی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر فهیمه حسینی بالام با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر اکبر ملک‌پور با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

پروردگارم را
می‌ستایم که لطف و مهربانیش را در هر لحظه عمرم احساس نموده‌ام؛
پدرم و مادرم را
سپاسگزارم که وجودشان مایه آرامش و یاریشان باعث حرکتم بود؛
سپاس ***معلمانم*** را
که راهنمای من بودند و سبب پیشرفت در هر مرحله‌ای .

از خواهران و برادرم و دوستانم که بدون وجود آنان حرکت در راه ناهموار زندگی ناممکن است تشکر می‌کنم و آرزوی بهروزی برایشان دارم.

تقدیم به

پدرم و مادرم

چکیده

آگاهی از توزیع عناصر رادیواکتیو و میزان تابش این مواد در محیط اطراف برای تعیین اثرات این عناصر بر روی انسان و فهم منابع چنین تابش هایی مهم است. تابش طبیعی رادیواکتیو ناشی از منابع روی زمین و همچنین منابع آسمانی است. منابع پرتوزای روی زمین در خاک، مواد ساختمانی، آب، صخره‌ها نهفته است. برخی از این مواد پرتوزا به منابع غذایی انسان وارد شده و یا توسط انسان استنشاق می شود. در حالی که تابش‌های آسمانی نیز می تواند بر انسان تاثیر بگذارد.

در پژوهش حاضر غلظت عناصر پرتوزای ^{232}Th، ^{238}U، ^{40}K و ^{137}Cs در نمونه‌های خاک و رسوب در نوار ساحلی دریای خزر بررسی شده است. ۴۰ نمونه از جنوب دریای خزر از "۸۴'۰۵ °۵۳ شرقی تا "۷۲'۵۲ °۴۸ شرقی در اسفندماه ۱۳۸۵ تهیه شدند. به این منظور منطقه تحت بررسی به ۴۰ بخش تقسیم‌بندی شده و از هر بخش ۱۰ نمونه، به فاصله ۲۰ متر و از عمق ۱۰ سانتیمتر، تهیه شد. نمونه نهایی از به هم آمیختن این نمونه‌ها بدست می آید. نمونه‌های مخلوط شده در پاکت های پلی اتیلنی بسته بندی شده و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌ها از ذرات با قطر بزرگتر از ۲ سانتیمتر جدا شدند. برای بررسی پرتوزایی، نخست نمونه ها به مدت ۲۰ روز در هوای آزاد خشک شدند. با استفاده از مش ۱۷۰ الک گردیدند. با خشک کردن دوباره در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد رطوبت اضافی نمونه‌ها حذف شد و با بسته بندی نمونه‌های نهایی در ظروف مارینلی، که با مواد شیمیایی شستشو داده شده اند، برای طیف گیری، به مدت ۵ هفته جهت به تعادل رسیدن هسته‌های مادر و دختر نگهداری شدند. سرانجام غلظت عناصر با استفاده از طیف‌سنجی گاما و نرم‌افزارهای کامپیوتری بدست آمد. طیف‌سنجی و بررسی نمونه‌ها توسط دستگاه طیف‌سنج گاما با آشکارساز ابرخالص ژرمانیوم، تحلیل گر چندکاناله و نرم افزار کامپیوتری، انجام شده است.

پرتوزایی، دز، ضریب معادل رادیم و ضریب خطرپذیری در نمونه‌های خاک ورسوب ۴۰ ایستگاه، در منطقه مورد بررسی، به دست آمده است.

بیشترین مقدار فعالیت هر یک از عناصر پرتوزای ^{232}Th، ^{238}U، ^{40}K و ^{137}Cs به ترتیب در نقاط نمک‌آبرود به طول جغرافیایی "۹۶"۰۵ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی"۵۵"۴۱ °۳۶ شمالی به مقدار $Bqkg^{-1}$ ۱۱۷±۱۱/۵ ، در کناردریا به مختصات"۸۹"۰۵ °۵۳ شرقی و "۳۵"۴۸ °۳۶ شمالی و به مقدار $Bqkg^{-1}$ ۱۷۷ ±۱۲/۴، در ویزنه به مختصات "۶۰"۵۳°۴۸ شرقی و "۰۵"۱۴°۳۸ شمالی به مقدار $Bqkg^{-1}$ ۱۰۸۵±۱۰۱/۶و در منطقه جفرود به مختصات "۴۷"۴۰°۴۹ شرقی و "۰۸"۲۷ °۳۷ شمالی به مقدار $Bqkg^{-1}$ ۱۳۱± ۴/۸ بدست آمده است.

میانگین پرتوزایی برای یزوتوپ‌های پرتوزای ^{232}Th، ^{238}U، ^{40}K و ^{137}Cs به ترتیب عبارت است از: ۶۱، ۴۹، ۵۳۷ و ۲۵ بکرل بر کیلوگرم. همچنین میانگین دز، ضریب معادل رادیم و ضریب خطرپذیری در این ناحیه از جهان به ترتیب عبارتند از:nGy/h ۶۳ ،۱۷۶ بکرل بر کیلوگرم و ۰/۴۹.

نتایج به دست آمده به عنوان نخستین تحقیق جامع در این ناحیه می‌تواند مرجعی برای تحقیقات آینده، باشد.

کلید واژه: دریای خزر، پرتوزایی، طِف‌سنجی، آشکارساز و پرتو گاما.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: نظریه هسته ای

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ هسته ۲

۱-۳ ترازهای انرژی هسته‌ای ۲

۱-۴ واپاشی‌های هسته‌ای ۳

۱-۴-۱ فرآیندهای واپاشی الکترومغناطیسی ۴

۱-۴-۲ واپاشی بتا ۴

۱-۴-۲-۱ واپاشی بتازای منفی β^- ۵

۱-۴-۲-۲ واپاشی بتازای مثبت β^+ ۵

۱-۴-۳ واپاشی آلفازا ۵

۱-۵ واپاشی گامازا ۶

۱-۶ قوانین واپاشی پرتوزا ۶

۱-۶-۱ واپاشی زنجیره‌ای ۹

۱-۶-۲ رشد اکتیویته دختر- هسته ۱۰

۱-۷ واکنش هسته‌ای ۱۱

۱-۸ واکنش هسته مرکب ۱۱

۱-۹ شکافت ۱۲

۱-۱۰ پیشینه تاریخی پژوهش ۱۲

۱-۱۱ شرح عنصرهای بررسی شده در این پژوهش ۱۳

۱-۱۱-۱ اورانیم ۱۳

۱-۱۱-۲ توریم ۱۳

۱-۱۱-۳ پتاسیم ۱۳

۱-۱۱-۴ سزیم ۱۳

فصل دوم: **مروری بر منطقه خزری و نمونه‌برداری‌های محیطی**

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ مشخصات دریای خزر ۱۵

عنوان | صفحه

۲-۳ رودهای دریای خزر ۱۶
۲-۳-۱ رودها ۱۶
۲-۴ شرایط اقلیمی و آب و هوائی دریای خزر ۱۷
۲-۵ بارش ۱۸
۲-۶ باد ۱۸
۲-۷ مشخصه ها و درونشارش آب دریای خزر ۱۹
۲-۸ سمت و سرعت باد ۲۰
۲-۹ گردش آب دریای خزر ۲۱
۲-۱۰ مطالعه و دیدبانی توسط سازمان انرژی اتمی (سازمان بین المللی یونسکو) ۲۳
۲-۱۱ فنون و روش‌های نمونه برداری ۲۴
۲-۱۱-۱ انتخاب مکان و طرح‌های نمونه‌برداری ۲۴
۲-۱۱-۲ دستورالعمل‌های گوناگون نمونه‌برداری ۲۵
۲-۱۱-۲-۱ نمونه‌برداری از رسوب ۲۵
۲-۱۱-۳ انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه ۲۵
۲-۱۱-۴ آماده‌سازی نمونه‌ها ۲۶
۲-۱۱-۴-۱ خشک کردن نمونه‌ها ۲۶
۲-۱۱-۴-۲ خردایش نمونه‌ها ۲۷
۲-۱۱-۵-۳ بسته‌بندی نمونه‌ها ۲۷

فصل: سوم: آشکارسازها و کارهای تجربی

۳-۱ مقدمه ۲۸
۳-۲ آشکارساز ۲۹
۳-۳ طیف انرژی ۳۰
۳-۴ اندازه‌گیری طیف انتگرالی با تحلیلگر تک‌کاناله ۳۱
۳-۵ اندازه‌گیری طیف دیفرانسیلی به کمک SCA ۳۱
۳-۵-۱ رابطه بین توزیع ارتفاع تپ و طیف انرژی ۳۱
۳-۵-۲ قدرت تفکیک انرژی ۳۲
۳-۶ آشکارسازهای سوسوزن NaI ۳۲
۳-۷ آشکارساز ژرمانیم ابر خالص (HPGe) به عنوان طیف سنج‌های گاما ۳۳

عنوان | صفحه

۳-۸ انواع اندازه‌گیری‌ها و تاثیر آن بر کارایی دستگاه ۳۳
۳-۹ شمارش ذرات ۳۴
۳-۱۰ ظرف مارینلی ۳۶
۳-۱۱ کارایی آشکارساز (ε) ۴۰
۳-۱۲ انواع روش‌های موجود برای محاسبه کارایی ۴۰
۳-۱۳ محاسبه خطا ۴۳
۳-۱۴ کارایی بیشینه ۴۴
۳-۱۴-۱ نتیجه: بهترین روش ۴۹
۳-۱۵- کارهای تجربی ۴۹
۳-۱۵-۱- نمونه‌برداری ۴۹
۳-۱۵-۲- انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه ۵۰
۳-۱۵-۳-نمونه‌سازی ۵۰
۳-۱۵-۴ بسته‌بندی نمونه ها ۵۱
۳-۱۵-۵ مراجع استاندارد ۵۲
۳-۱۶ الکترونیک هسته‌ای ۵۵
۳-۱۷ دستگاه آشکارساز ۵۶
۳-۱۸ سخت‌افزار ونرم‌افزار MCB ۵۷
۳-۱۹ اندازه‌گیری خودجذب ۵۸
۳-۲۰ کمترین حد آشکارپذیری ۵۸
۳-۱۶ تعیین میزان پرتوزایی عناصر در نمونه‌های محیطی ۵۹

فصل چهارم: بحث ونتیجه گیری

۴-۱ مقدمه ۶۱
۴-۲ فعالیت پرتوزای عناصر طبیعی در نوار ساحلی دریای خزر ۶۲
۴-۳ محاسبه ضرایب دز D، فعالیت R_{eq} معادل رادیوم و ضریب خطر H_{ex} در ناحیه خزری ۶۹
۴-۴ نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادات ۷۳
منابع و مراجع ۷۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ نقشهٔ حوضهٔ دریای خزر و زیر حوضه‌ها ۱۵
شکل ۲-۲ آبنگاری حوضهٔ دریای خزر ۱۶
شکل ۲-۳ گردش آب در دریای خزر ۲۳
شکل ۳-۱ ظرف مارینلی برای بسته بندی نمونه‌ها ۳۷
شکل ۳-۲ مسیرهای ممکن یک پرتو ۳۷
شکل ۳-۳ طیف آشکارساز گاما برای مرجع استاندارد ۴۵
شکل ۳-۴ منحنی برازش نوعی برای یک طیف ۴۵
شکل ۳-۵ تحلیل نمودار طیف آشکارساز HPGe بوسیله نرم‌افزار Origin ۴۶
شکل ۳-۶ تحلیل نمودار طیف آشکارساز HPGe بوسیله نرم‌افزار Maestro ۴۷
شکل۳-۷ تحلیل نمودار طیف آشکارساز NaI بوسیله نرم‌افزار Maestro ۴۸
شکل۳-۸ نمایی از آسیاب بکار رفته جهت سایش نمونه‌ها ۵۰
شکل ۳-۹ نمونه ای از رسوب پیش از آماده‌سازی ۵۱
شکل۳-۱۰ رسوب آسیاب شده برای بسته‌بندی ۵۱
شکل ۳-۱۱ یک نمونه بسته‌بندی شده ۵۲
شکل ۳-۱۲ مرجع استاندارد بکار گرفته شده ۵۲
شکل ۳-۱۳ طیف نمونه مرجع ۵۵
شکل۳-۱۴ نمایی از دستگاه آشکارساز بکار رفته همراه با مخزن خنک‌سازی نیتروژن ۵۷
شکل۳-۱۵ نمایی از دستگاه MCB ۵۷
شکل۴-۱ مکان ایستگاه های نمونه‌برداری در ناحیه خزری ۶۲
شکل۴-۴ نمودار میله‌ای فراوانی عنصر توریم در نوار ساحلی دریای خزر ۶۷
شکل ۴-۵ نمودار میله‌ای فراوانی عنصر اورانیم در نوار ساحلی دریای خزر ۶۷
شکل ۴-۶ نمودار میله‌ای فراوانی عنصر پتاسیم در نوار ساحلی دریای خزر جدول ۶۷
شکل۴-۷ نمودار میله‌ای فعالیت معادل رادیم در نوار ساحلی دریای خزر ۷۰
شکل۴-۸ نمودار میله‌ای دز تابشی در نوار ساحلی دریای خزر ۷۲
شکل۴-۹ نمودار میله‌ای ضریب خطرپذیری در نوار ساحلی دریای خزر ۷۳

فهرست جداول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- سطح حوزه‌های آبریز اصلی دریای خزر در جدول زیر مشاهده می‌شود. ۱۷

جدول ۲-۳- میانگین سالیانهٔ درونشارش به دریای خزر(اندازه‌گیری شده) ۲۰

جدول ۳-۱- طول مسیرهایی که توسط یک فوتون در آشکارساز پیموده می شود..... ۳۹

جدول ۳-۲- مشخصات انرژی نمونه‌های استاندارد..... ۵۳

جدول ۳-۳- خصوصیات نمونه مرجع..... ۵۴

جدول۳-۴- انرژی وفراوانی عناصر درون نمونه مرجع..... ۵۴

جدول ۴-۱- فعالیت در واحد جرم عناصر Th، U ، K و Cs در نوار ساحلی دریای خزر..... ۶۳

جدول ۴-۲- فعالیت مجاز عناصر پرتوزای طبیعی..... ۶۵

جدول۴-۳- مقایسه میانگین فعالیت ناحیه خزری با نقاط دیگر دنیا..... ۶۸

جدول۴-۴- مقادیر کمیت‌های فعالیت معادل رادیم، دز و ضریب خطر در ناحیه جنوبی دریای خزر. ۷۱

فصل ۱

نظریه هسته‌ای

۱-۱ مقدمه

تاریخ آغاز علم هسته‌ای را می‌توان از کشف پرتوزایی بوسیله بکرل[۱] در سال ۱۸۹۶ با پیدایش فرضیه رادرفورد[۲] مبنی بر وجود هسته در اتم‌ها در سال ۱۹۱۱ در نظر بگیریم. این مطالعات تجربی و نظری نقشی بزرگ در پیشرفت علم قرن بیستم داشته است. امروزه از نتیجه این مطالعات درک درستی از ویژگی‌های هسته‌ها و ساختاری که منشا این خواص است به دست آمده است.

همچنین فیزیک هسته‌ای روش‌هایی در اختیار ما قرار داده است که زمینه‌های علمی دیگر، از جمله در فیزیک اتمی و فیزیک حالت جامد نیز کاربرد وسیعی یافته‌اند. پژوهش‌های آزمایشگاهی هسته‌ای برای حل انواع بسیار گوناگون مسائل، از برهمکنش کوارک‌ها گرفته تا فرآیندهای نخستین مراحل تکامل جهان که پس از مهبانگ[۳] روی داده است، به کار برده می‌شود.

---

۱ Becquerel

۲ Rutherford

۳ bigbang

امروزه فیزیکدان‌ها از روش‌هایی که در آزمایشگاه‌های فیزیک هسته ای بدست آمده است، برای تشخیص و درمان بیماری ها ، بدون اینکه نیاز به جراحی باشد، بهره‌برداری می‌کنند. اما از سوی دیگر هم، برخی از فنون فیزیک هسته‌ای برای ساخت سلاح‌های کشتار جمعی شده است که منتج به کشتار تعداد زیادی از انسان‌ها شده است و ادامه چنین روندی خطری جدی برای آینده بشری است.

دانش هسته‌ای، دانشی است که پهنه گسترده‌ای از کوچکترین ذرات میکروسکوپی تا موجودات کیهانی را شامل می شود. همچنین کاربردهای مستقیم آن به طور بالقوه می‌تواند این چنین مرزهای خیر و شر را درنوردد[۱].

۱-۲ هسته

هر اتم دارای یک بخش میانی کوچک به نام هسته است که با الکترون‌های مداری در بر گرفته شده است. هسته اتم دارای ویژگی‌هایی است که می توان آن ها را با کمیت هایی چون پاریته، گشتاورهای دو قطبی الکتریکی و چهارقطبی مغناطیسی، انرژی و اسپین معرفی کرد. اصول حاکم بر این ویژگی‌ها بر پایه قوانین مکانیک کوانتومی بیان می شود و از گستره مکانیک کلاسیک خارج است.

خود هسته از نوترون‌ها و پروتون‌ها ساخته شده است. جرم هسته به دلیل سنگینی این ذرات که نوکلئون نامیده می شوند، تقریباً با جرم اتم برابر است. هسته اتم برای نخستین بار در سال ۱۹۱۱ در آزمایشی که رادرفورد و دستیارانش با استفاده از پراکندگی ذرات آلفا توسط اتم انجام دادند کشف شد.

عاملی که این نوکلئون‌ها را در کنار هم نگه می دارد "نیروی هسته‌ای" است. این نیرو در فاصله‌های کوتاه، یعنی در حدود ابعاد هسته، باید بسیار قوی باشد. زیرا باید بر نیروی کولنی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند غلبه کند. این نیرو، نیرویی است کوتاه برد که با زیاد شدن فاصله تندتر از $1/r$ کاهش می یابد[۲].

۱-۳ ترازهای انرژی هسته‌ای

عاملی که نوکلئون ها را کنار هم نگه می دارد،نیروی هسته ای است.هر چند سرشت این نیروها چندان معلوم نیست اما دانشمندان به طرز رضایت بخشی رفتار هسته‌ها را با در نظر گرفتن شکل معینی برای این نیروها و ساختن مدل های هسته ای بر پایه آنها، پیش‌بینی کرده اند. به هر حال مدلی وجود ندارد که پاسخگوی همه

واقعیتها درباره هسته‌های شناخته شده باشد. بسته به نوع مدل، حالت های انرژی را می‌توان به نوکلئون‌ها یا به هسته به صورت یک کل نسبت داد[۱].

پایین ترین حالت انرژی ممکن یک هسته، حالت زمینه است که دارای یک انرژی منفی است و دلالت بر حالت مقید دارد. حالت پایه و همه حالت‌های برانگیخته زیر تراز انرژی صفر، حالت‌های مقید نامیده می‌شوند. اگر هسته خود را در هر یک از حالات مقید بیابد، پس از مدت زمانی از مرتبه 10^{-12} تا 10^{-16} ثانیه با فرو افتادن به یک حالت پایینتر، وا انگیخته می شود. وا انگیزش همراه با گسیل یک فوتون با انرژی برابر با اختلاف پتانسیل بین انرژی‌های حالات نخستین و پایانی است.

اگر هسته انرژی کافی برای بالا رفتن تا یک تراز مجاز را بدست آورد، ممکن است با فرو افتادن به یکی از حالات مقید و یا با گسیل یک نوکلئون وا انگیزد[۲].

بررسی ترازهای انرژی همه هسته‌های شناخته شده نکات زیر را روشن می کند:

۱- فاصله بین ترازهای انرژی هسته ای از مرتبه کیلو الکترون ولت تا مگا الکترون ولت است. برعکس فاصله بین ترازهای الکترونی از مرتبه الکترون ولت است.

۲- با افزایش انرژی برانگیختگی فاصله بین ترازها کاهش می یابد.

۳- با افزایش عدد جرمی **A** تعداد ترازها فزونی می یابد.

٤- با افزایش عدد جرمی **A** انرژی نخستین حالت برانگیخته کاهش می‌یابد.

۱-٤ واپاشی‌های هسته‌ای

حالت های گوناگونی، که یک هسته می تواند در آنها قرار گیرد، وجود دارد. اما هیچ دلیلی وجود ندارد یک هسته برای همیشه در یک حالت باقی بماند. در طبیعت فرآیندهایی وجود دارد که باعث گذار یک حالت هسته‌ای به حالت دیگر شود. این فرآیندها در دو دسته زیر جای می گیرد:

الف-فرایندهایی که به طور خود به خودی روی می دهد و به آنها واپاشی گویند.

ب- فرایندهایی که در اثر بمباران شدن با ذره ای از خارج آغاز می شوند و آن ها را واکنش نامند.

هنگامی که فرآیندهای خود به خودی روی می دهند یعنی سامانه از حالتی به حالت دیگر می رود بر پایه پایستگی انرژی، انرژی حالت پایانی از حالت آغازین کمتر است و این اختلاف باید به گونه‌ای به بیرون سامانه گسیل شود. در همه این موارد با گسیل ذرات دارای انرژی این کار انجام می شود. مشاهده تجربی این ذرات نسبتاً آسان است و در واقع پژوهش در فیزیک هسته‌ای با کشف تجربی آن ها در دهه ۱۸۹۰ آغاز شد.

سه نوع واپاشی اصلی وجود دارد[۲]:

- فرآیندهای الکترومغناطیسی

- واپاشی بتا

- گسیل نوکلئون

۱-٤-۱ فرآیندهای واپاشی الکترومغناطیسی

هرگاه نوکلئونی در مداری با انرژی بالا باشد، در حالی که مداری با انرژی پایین تر پر نشده است، نوکلئون می تواند به مدار کم انرژی تر برود و انرژی آزاد شده در اینجا به صورت کوانتومی از تابش الکترومغناطیسی است که آن را پرتو گاما می‌نامند. این فرایند همانند چیزی است که در اتم‌ها انجام می شود و در آن یک الکترون با گسیل یک کوانتم نور از مداری با انرژی بالاتر به مداری با انرژی پایینتر می رود. تنها تفاوت در انرژی مداری بالایی نوکلئون ها است و بنابراین اختلاف انرژی آنها نسبت به اتم‌ها بسیار بزرگتر است. این اختلاف از مرتبه مگا الکترون ولت و در اتم‌ها از مرتبه الکترون ولت است. با توجه به رابطه:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \qquad (۱-۱)$$

در فرآیندهای هسته‌ای بسامد تابش بزرگتر و طول موج به همان نسبت کوچکتر است. گسل پرتو گاما ناشی از برهمکنش هسته با میدان تابش الکترومغناطیسی است. درست مانند گسیل نور که حاصل برهمکنش الکترون‌های اتم با همان میدان است[۲].

این واپاشی را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$^{A}_{Z}X' \rightarrow ^{A}_{Z}X + \gamma \qquad (۱-۲)$$

که در آن $^{A}_{Z}X'$ هسته بر انگیخته است.

۱-٤-۲ واپاشی بتا

در واپاشی بتا، هسته یک الکترون یا پوزیترون گسیل می کند و به عنصر دیگری تبدیل می‌شود. افزون بر الکترون یا پوزیترون ذره خنثایی با جرم سکون صفر نیز گسیل می‌کند. دو نوع واپاشی بتا وجود دارد[۲]:

- واپاشی بتازای منفی β^-
- واپاشی بتازای مثبت β^+

۱-٤-۲-۱ واپاشی بتازای منفی β^-

این نوع واپاشی را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X + \beta^- + \overline{\nu} \qquad (۳-۱) $$

که در آن β^- الکترون و $\overline{\nu}$ پادنوترینو هستند. ذره بتا الکترونی است که از هسته‌هایی که دستخوش واپاشی بتا می شوند گسیل می شود و پاد نوترینو ذره خنثایی با جرم سکون صفر است[۳].

۱-٤-۲-۲ واپاشی بتازای مثبت β^+

این نوع واپاشی به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X + \beta^+ + \nu \qquad (٤-۱) $$

که در آن β^+ الکترون و ν نوترینو هستند.

واپاشی بتای منفی تنها در حالتی روی می دهد که جرم مادر از جرم دختر بیشتر باشد. در حالی که واپاشی بتای مثبت تنها در صورتی امکان پذیر است که جرمهای هسته‌های مادر و دختر دست کم به اندازه $۲mc^۲$=۱/۰۲۲Mev با هم تفاوت داشته باشند[۳].

۱-٤-۳ واپاشی آلفازا

در این فرآیند هسته یک ذره آلفا گسیل می کند. هسته He^4 از آن رو به عنوان عامل این فرایند درآمده است که سیستمی با پیوند بسیار مستحکم است و بنابراین انرژی جنبشی آزاد شده بیشینه می‌شود. این فرآیند را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$ {}^{A}_{Z}X_N \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^{4}_{2}He_2 \qquad (۵-۱) $$

که X و X' علائم شیمیایی هسته های آغازین و پایانی واکنش هستند. باید توجه داشت که تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها هر یک به تنهایی پایسته می ماند. واپاشی زیر نمونه ای از واپاشی آلفا زا است[۳]:

$$^{236}_{88}Ra_N \rightarrow ^{222}_{86}Rn_{136} + ^{4}_{2}He_2 \qquad (٦-١)$$

١-٥ واپاشی گامازا

گسیل پرتوزای گاما مشابه گسیل تابش‌های اتمی، مانند گذارهای اپتیکی یا پرتو X، است . یک حالت هسته‌ای بر انگیخته با گسیل یک فوتون گاما با انرژی برابر با اختلاف انرژی دو حالت (منهای تصحیح قابل چشم پوشی مربوط به انرژی پس‌زنی هسته گسیلنده) به حالت هسته‌ای پایینتر یا حالت پایه تنزل می کند. گسیل گاما در همه هسته‌هایی که حالت برانگیخته مقید دارند(A>٥) دیده می شود و معمولاً به دنبال واپاشی‌های آلفازا و بتازا روی می دهد. زیرا در این واپاشی‌ها معمولاً هسته دختر در حالت برانگیخته تشکیل می‌شود.

نیمه عمر گسیل گاما معمولاً بسیار کوتاه، عموماً کمتر از $^{-٩}$١٠ ثانیه، است. اما در مواردی نیمه عمرهای درازتر در حدود ساعت یا روز نیز دیده می شود. این حالتها را گذارهای ایزومری و حالتهای برانگیخته با عمر دراز را حالتهای ایزومری یا ایزومرها (یا گاهی حالت های شبه پایدار) می نامند. معیار روشنی برای تعیین دسته بندی حالتها، به ایزومری و غیر ایزومری وجود ندارد. پیش از این معیار این دسته‌بندی قابلیت اندازه‌گیری نیمه‌عمر به صورت غیرمستقیم بود. ولی امروزه می توان نیمه‌عمرهای خیلی کمتر از $^{-٩}$١٠ ثانیه را نیز اندازه گرفت. مسلماً حالت بانیمه عمر $^{-٦}$١٠ ثانیه ایزومر است و حالت با نیمه عمر $^{-١٢}$١٠ ثانیه ایزومر نیست ولی بین این دو حالت وضعیت نسبتاً مبهمی وجود دارد. معمولاً حالتهای شبه پایدار را با شاخص بالای m مشخص می‌کنند (مانند $^{110}Ag^{m}$ یا ^{110m}Ag).

فرآیندی که غالباً با گسیل گاما رقابت می‌کند تبدیل داخلی است که در آن هسته با انتقال مستقیم انرژی خود به یک الکترون اتمی واانگیخته می شود. این الکترون سپس در آزمایشگاه به صورت الکترون آزاد ظاهر می شود.(این فرآیند با واپاشی بتا خیلی تفاوت دارد، زیرا در این فرآیند تغییری در عدد اتمی و عدد جرمی روی نمی‌دهد هر چند که اتم در اثر واپاشی یونیزه می‌شود.) [٣].

١-٦ قوانین واپاشی پرتوزا

واپاشی پرتوزا تغییر خود به خودی یک هسته است. این دگرگونی ممکن است یک هسته جدید یا تنها تغییری در انرژی آن هسته پدید آورد. اگر مقدار معینی از یک هسته پرتوزا در اختیار باشد هیچ قطعیتی

وجود ندارد که در ثانیه بعد چه تعداد هسته ای واپاشد یا هیچ تعدادی واپاشی انجام ندهد. تنها می‌توان از احتمال این که یک هسته در مدت زمان معلومی واپاشی انجام دهد، صحبت کرد [۳].

احتمال این که یک هسته مفروض در واحد زمان واپاشی کند ثابت واپاشی نام دارد و با نماد λ نشان داده می شود. برای یک عنصر خاص λ :

الف- برای همه یکسان است.

ب- ثابت و مستقل از تعداد هسته‌های موجود است.

ج- مستقل از سن هسته‌هاست.

جرم معین m از یک پرتوزای معین با ثابت واپاشی λ را در نظر بگیرید.

تعداد اتمها در جرم m عبارت است از :

$$N = m\frac{N_a}{A} \qquad (۷-۱)$$

که در آن A وزن اتمی نمونه و N_A عدد آووگادرو است.

$$N_A = 6.022\times10^{23} = \text{عدد آووگادرو} \qquad (۸-۱)$$

این تعداد اتمها بر اثر واپاشی، بر حسب زمان و بر پایه برابری زیر کاهش می یابند:

$$\text{واپاشی بر واحد زمان=کاهش بر واحد زمان} \qquad (۹-۱)$$

یعنی

$$-\frac{dN(2)}{dt} = \lambda N(t) \qquad (۱۰-۱)$$

که پاسخ آن عبارت است از:

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t} \qquad (۱۱-۱)$$

که در آن $N(0)$ تعداد اتم ها در $t = 0$ است.

احتمال اینکه یک هسته در مدت زمان t وا نپاشد یعنی در مدت زمان t باقی بماند با نسبت زیر داده می شود:

$$\text{احتمال اینکه یک هسته در مدت زمان t وا نپاشد} = \frac{N(0)e^{-\lambda t}}{N(0)} = e^{-\lambda t} \qquad (۱-۱۲)$$

احتمال اینکه هسته بین t و $t+dt$ واپاشد، عبارت است از:

$$\text{P(t)dt} = (\text{احتمال اینکه در زمان } t \text{ باقی واپاشد}) (\text{احتمال اینکه در زمان } t \text{ باقی بماند}) = e^{-\lambda t}\lambda dt \qquad (۱-۱۳)$$

و عمر متوسط $\bar{t}$ هسته با رابطه زیر داده می شود:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^\infty tP(t)dt}{\int_0^\infty P(t)dt} = \frac{\int_0^\infty te^{-\lambda t}dt}{\int_0^\infty e^{-\lambda t}dt} = \frac{1}{\lambda} \qquad (۱-۱۴)$$

مفهومی که به طور گسترده ای درباره پرتوزاها به کار می‌رود نیم عمر T است که به صورت مدت زمانی که طول می‌کشد تا نیمی از تعداد معینی هسته واپاشد تعریف می‌شود. پس به این ترتیب داریم:

$$\frac{N(T)}{N(0)} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \qquad (۱-۱۵)$$

که از آنجا خواهیم داشت:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \qquad (۱-۱۶)$$

برای نمونه $N(t)$ هسته در لحظه t هر یک با ثابت واپاشی λ تعداد انتظاری هسته‌هایی که در واحد زمان وامی‌پاشند، عبارت است از:

$$A(t) = \lambda N(t) \qquad (۱-۱۷)$$

که $A(t)$ فعالیت نمونه در لحظه t است.

یکاهای فعالیت عبارتند از بکرل (Bq) برابر یک واپاشی در ثانیه، یا کوری که برابر با $۳/۷۰\times۱۰^{۱۰}$Bq است.