

11/1/10 7044  
11/12/10



110771



بررسی اثر بمباران نوترونی در تغییر پارامترهای بلوری

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد فیزیک

ارائه دهنده:

میرعلیرضا واحدی مقدم

دانشکده علوم

گروه فیزیک

اساتید راهنما:

دکتر محمد طالبیان

دکتر رسول خدابخش

پاییز ۱۳۸۷

۱۱۰۶۶۸

۸۷/۱/۱۵۹۵۳  
۸۷/۱۲/۳

کتابخانه تخصصی فیزیک  
دانشگاه گاه ارس

۸۷/۱۲/۳

پایان نامہ <sup>۳</sup> علیہ فیاض احمد مصطفیٰ

مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبہ عالی

شماره ۸۷،۸۱۲ تاریخ

و نمبر ۱۸،۲۵ قرار گرفت.

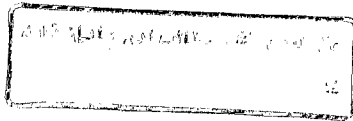
۱- استاد راهنما و رئیس هیئت داوران: دکتر محمد طابین و دکتر رسول خدا بخش

۲- استاد مشاور:

۳- داور خارجی: دکتر ہادی کورزی

۴- داور داخلی: دکتر البکر حفیظی

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر سعید اسحاق شاہ



تقدیم به پدر و مادر مهربانم که چون کوهی استوار در همه مراحل

زندگی مایه پشت گرمی من بوده‌اند

تقدیم به خواهر عزیزم که وجودش مایه خوشنودی و دل گرمی من است

## تقدیر و تشکر

از تلاش‌های بی‌دریغ و بی‌شاعبه اساتید گرامیم دکتر محمد طالبیان و دکتر رسول خدابخش که در مراحل مختلف این پایان‌نامه از راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند شدم، تشکر می‌کنم.

از خانواده محترم که صبورانه با حمایت‌هایشان مرا در پیمودن این راه یاری کردند، سپاس‌گذارم.

از کارشناس‌های گروه فیزیک مخصوصاً جناب آقای عبدی و آقای اوستان که در طی مراحل مختلف آزمایشات با اینجانب همکاری نمودند، تشکر می‌کنم.

از دوستان و هم‌اتاق‌های عزیزم آقای شکوفه، آقای معینی و آقای مبهوتی قدردانی می‌کنم.

چکیده.....	۱.....
فصل اول : نوترون .....	.....
۱-۱ مقدمه .....	۲.....
۱-۲ مدل هایزبرگی .....	۴.....
۱-۳ کشف رادیواکتیویته .....	۵.....
۱-۴ قانون تجزیه رادیواکتیو .....	۵.....
۱-۵ نیمه عمر متوسط یک رادیواکتیو .....	۶.....
۱-۶ سری های رادیواکتیو .....	۷.....
۱-۷ تشعشعات هسته ای .....	۸.....
۱-۸ راکتورهای هسته ای .....	۱۰.....
۱-۹ اصول واکنش های هسته ای نوترون .....	۱۱.....
۱-۹-۱ نوترون .....	۱۱.....
۱-۹-۲ چشمه های نوترون .....	۱۲.....
۱-۹-۳ واکنش های مختلف تولید نوترون .....	۱۳.....
۱-۹-۴ سطح مقطع نوترون .....	۱۴.....
۱-۹-۵ پویش آزاد متوسط .....	۱۶.....
۱-۹-۶ آشکارسازی نوترون .....	۱۷.....
۱۰-۱ برهمکنش های نوترون با ماده .....	۱۸.....

۱۸-۱۰-۲ ..... پراکندگی غیرکشسان

۱۹-۱۰-۳ ..... جذب تابش زا

۱۹-۱۰-۴ ..... پدیده شکافت

۲۱-۱۱-۱ ..... رده‌بندی واکنش‌های نوترون

۲۱-۱۱-۱ ..... رده‌بندی انرژی نوترون

۲۱-۱۱-۲ ..... واکنش‌های نوترونی

۲۲-۱۱-۲ ..... تاثیر تابش‌های هسته‌ای بر ساختار مواد بلوری

۲۴-۱۱-۲-۱ ..... خارج شدن اتم از جایگاه بلوری

۲۶-۱۱-۲-۲ ..... کاربردهای فرایند ایجاد نقص بلوری

## ..... فصل دوم: بلور شناسی

۲۷-۲-۱ ..... تاریخچه و تعاریف اولیه

۳۰-۲-۲ ..... قانون براگ

۳۱-۲-۳ ..... شبکه‌های بلوری

۳۱-۲-۳-۱ ..... تعریف شبکه

۳۲-۲-۳-۲ ..... عمل‌های تقارنی

۳۴-۲-۳-۳ ..... انواع شبکه‌های سه بعدی

۳۵-۲-۳-۴ ..... دستگاه شاخص‌گذاری صفحات بلوری

۳۶-۲-۳-۵ ..... مفهوم شبکه وارون

۳۸-۲-۳-۶ ..... روابط بین فضاهای بین صفحه‌ای

۳۹-۲-۴ ..... پراش

۳۹-۲-۴-۱ ..... شرط پراش لاوله

۳۹	۲-۴-۱ شرط پراش لایه
۴۰	۲-۴-۲ جذب اشعه ایکس
۴۲	۲-۵ بلور واقعی
۴۲	۲-۵-۱ نقص های بلوری
۴۵	۲-۵-۲ مطالعه اثر نقص های بلوری در بازتاب های اشعه X از بلور
۴۶	۲-۵-۳ مطالعه اثر دما بر طیف اشعه ایکس بلور
۵۰	۲-۵-۴ عامل ساختار
۵۳	۲-۶ اشعه ایکس
۵۳	۲-۶-۱ مولد اشعه ایکس
۵۵	۲-۶-۲ تکفام کردن اشعه ایکس
	فصل سوم : بررسی تاثیر بمباران نوترونی بر ساختار دو بلور بریل و باریت
۵۶	۳-۱ مقدمه
۵۸	۳-۲ بریل
۵۹	۳-۳ باریت
۵۹	۳-۴ میکا
۶۱	۳-۵ چشمه نوترون مورد استفاده در آزمایشات
۶۳	۳-۶ دستگاه XRD
۶۴	۳-۷ مراحل انجام آزمایشات
۷۸	۳-۸ بحث و نتیجه گیری
۸۵	فهرست مراجع



## فهرست شکل‌ها

صفحه

- شکل ۱-۹-۱ تغییرات سطح مقطع کل فلز رادیوم بر حسب انرژی نوترون ..... ۱۶
- شکل ۱-۱۰-۱ فرایند شکافت  $^{235}\text{U}$  ..... ۱۹
- شکل ۱-۱۲-۱ بیرون رانده شدن یک الکترون توسط تابش هسته‌ای ..... ۲۴
- شکل ۱-۱۲-۲ برخورد و جابجایی اتم، که باعث ایجاد بین نشینی و تهی‌جا می‌شود ..... ۲۶
- شکل ۲-۱ ساختمان داخلی نمک طعام و تکرار واحد مکعبی آن در سه جهت فضایی ..... ۲۸
- شکل ۲-۲ شماتیک بازتاب اشعه ایکس از اتمها در ساختار بلور ..... ۳۰
- شکل ۲-۳-۱ ملکول آب ..... ۳۳
- شکل ۲-۳-۲ نمایش صفحه‌ای از بلور در فضای بردارهای پایه ..... ۳۵
- شکل ۲-۳-۳ بردارهای پایه و چند صفحه دلخواه از آن ..... ۳۶
- شکل ۲-۳-۴ سلول واحد یک شبکه دلخواه ..... ۳۷
- شکل ۲-۴-۱ پراش پرتو از یک شبکه یک بعدی با پارامتر  $a$  ..... ۳۹
- شکل ۲-۴-۲ نمودار فاکتور عبور برای دو نوع بلور کروری و استوانه‌ای ..... ۴۲
- شکل ۲-۵-۱ مکانیسم جابجایی ناشی از آسیب نوترونی در شبکه هگزاگونال ..... ۴۴
- شکل ۲-۵-۲ نمودار انرژی بر حسب فاصله بین اتمی ..... ۴۵
- شکل ۲-۵-۳ برخورد اشعه به یک اتم ..... ۴۸
- شکل ۲-۵-۴ اثر فاکتور دمایی بر طرح پرتو ایکس یک بلور به ازای دسته صفحات موازی ..... ۵۰
- شکل ۲-۶-۱ شماتیک منبع تولید اشعه ایکس ..... ۵۳
- شکل ۲-۶-۲ بیناب اشعه ایکس با هدف مس ..... ۵۴
- شکل ۲-۶-۳ شماتیک فیلتر کردن  $k\beta$  اشعه ایکس با یک فیلتر ..... ۵۶
- شکل ۳-۵-۱ طیف انرژی نوترون حاصل از چشمه ..... ۶۱
- شکل ۳-۵-۲ شماتیک ساختمان یک چشمه نوترون  $\text{Am-Be}$  ..... ۶۲
- شکل ۳-۵-۳ سطح مقطع واکنش  $(\alpha, n)$  برای فلز برلیوم بر حسب انرژی ذره آلفا ..... ۶۲

- شکل ۱-۷-۳ طیف اشعه X بلور بریل ..... ۶۴
- شکل ۲-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل بعد از ۶ روز تشعشع ..... ۶۵
- شکل ۳-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل بعد از ۹ روز تشعشع ..... ۶۶
- شکل ۴-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل بعد از ۱۱ روز تشعشع ..... ۶۶
- شکل ۵-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل بعد از ۱۴ روز تشعشع ..... ۶۷
- شکل ۶-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل پودری بعد از ۶ روز تشعشع ..... ۶۸
- شکل ۷-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل پودری بعد از ۹ روز تشعشع ..... ۶۹
- شکل ۸-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل پودری بعد از ۱۱ روز تشعشع ..... ۶۹
- شکل ۹-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور بریل پودری بعد از ۱۴ روز تشعشع ..... ۷۰
- شکل ۱۰-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت ..... ۷۰
- شکل ۱۱-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت بعد از ۱۲ روز تابش دهی ..... ۷۱
- شکل ۱۲-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت بعد از ۳۰ روز تابش دهی ..... ۷۱
- شکل ۱۳-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت بعد از ۴۵ روز تابش دهی ..... ۷۲
- شکل ۱۴-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت بعد از ۶۰ روز تابش دهی ..... ۷۲
- شکل ۱۵-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت پودر شده بعد از ۱۲ روز تابش دهی ..... ۷۳
- شکل ۱۶-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت پودر شده بعد از ۳۰ روز تابش دهی ..... ۷۳
- شکل ۱۷-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت پودر شده بعد از ۴۵ روز تابش دهی ..... ۷۴
- شکل ۱۸-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور باریت پودر شده بعد از ۶۰ روز تابش دهی ..... ۷۴
- شکل ۱۹-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور میکای پودر شده ..... ۷۵
- شکل ۲۰-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور میکای پودر شده بعد از ۷ روز تابش دهی ..... ۷۶
- شکل ۲۱-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور میکای پودر شده بعد از ۱۳ روز تابش دهی ..... ۷۶
- شکل ۲۲-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور میکای پودر شده بعد از ۲۰ روز تابش دهی ..... ۷۷
- شکل ۲۳-۷-۳ طیف پراش اشعه X بلور میکای پودر شده بعد از ۲۹ روز تابش دهی ..... ۷۷

- جدول ۱-۹-۱ ..... مشخصات فیزیکی چند ذره سبک ..... ۱۲
- جدول ۱-۹-۲ ..... انرژی همبستگی آخرین نوترون هسته‌های سبک ..... ۱۳
- جدول ۱-۱۰-۱ ..... تعداد نوترون‌های گسیل شده به ازای هر شکافت ..... ۲۰
- جدول ۱-۳-۲ ..... شبکه‌های فضایی براوه ..... ۳۴
- جدول ۲-۳-۲ ..... روابط بین پارامترهای شبکه مستقیم و وارون ..... ۳۸
- جدول ۱-۵-۲ ..... شرایط پراش برای چند ساختار بلوری ..... ۵۲
- جدول ۱-۶-۲ ..... طول موج‌های تولید شده توسط چند هدف مهم ..... ۵۴
- جدول ۲-۶-۲ ..... فیلترهای تعادلی مورد استفاده در اشعه‌های X با هدف‌های مشخص ..... ۵۵
- جدول ۱-۵-۳ ..... مشخصات یک چشمه  $(\alpha, n)$  توسط امرسیم ..... ۶۳
- جدول ۱-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل ..... ۶۴
- جدول ۲-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل بعد از شش روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۶۵
- جدول ۳-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل بعد از نه روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۶۶
- جدول ۴-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل بعد از یازده روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۶۷
- جدول ۵-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل بعد از چهارده روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۶۷
- جدول ۶-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل پودری بعد از شش روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۶۸
- جدول ۷-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل پودری بعد از نه روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۶۹
- جدول ۸-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل پودری بعد از یازده روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۶۹
- جدول ۹-۷-۳ ..... مشخصات طیف سنجی مربوط به بلور بریل پودری بعد از چهارده روز در مقابل تشعشع بودن ..... ۷۰
- جدول ۱۰-۷-۳ ..... مشخصات بلور شناسی برای بلور باریت ..... ۷۱
- جدول ۱۱-۷-۳ ..... مشخصات بلور شناسی برای بلور باریت بعد از بمباران نوترونی در بازه‌های زمانی مشخص ..... ۷۲
- جدول ۱۲-۷-۳ ..... مشخصات بلور شناسی برای بلور باریت پودری بعد از بمباران نوترونی در بازه‌های زمانی مشخص ..... ۷۴

- جدول ۳-۷-۱۳-۱۳ مشخصات پارامتریک بلور میکا قبل از بمباران نوترونی ..... ۷۵
- جدول ۳-۷-۱۴-۱۴ مشخصات پارامتریک بلور میکا بعد از ۷ روز بمباران نوترونی ..... ۷۶
- جدول ۳-۷-۱۵-۱۵ مشخصات پارامتریک بلور میکا بعد از ۱۳ روز بمباران نوترونی ..... ۷۶
- جدول ۳-۷-۱۶-۱۶ مشخصات پارامتریک بلور میکا بعد از ۲۰ روز بمباران نوترونی ..... ۷۷
- جدول ۳-۷-۱۷-۱۷ مشخصات پارامتریک بلور میکا بعد از ۲۹ روز بمباران نوترونی ..... ۷۸

## چکیده

کشف نوترون توسط چادویک بستر جدیدی برای فعالیت در زمینه‌های مختلف فیزیک از جمله بلور شناسی را فراهم کرد. استفاده از نوترونهای کند (با طول موج دوبروی در حد  $1\text{\AA}$ ) در کنار پراش اشعه ایکس و سایر ذرات ریز اتمی، در بررسی و مطالعه بلور گسترش یافت. در سالهای اخیر با پیدایش انرژی هسته‌ای یکی از مهمترین موضوعات مورد مطالعه، بررسی اثرات تشعشعات هسته‌ای بر محیط پیرامون می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه یکی از محصولات مهم واکنش‌های هسته‌ای، نوترونهای سریع و پر انرژی می‌باشد، مطالعه اثرات این ذره بر روی کانی‌های پوسته زمین می‌تواند جالب توجه باشد. این موضوع نمونه‌ای از تغییر خواص مواد در اثر تابش نوترون و بهبود یا تخریب برخی از خواص مواد و بلورها می‌باشد.

این تأثیرات منجر به دو دسته تغییر می‌شوند: ۱) تغییرات ماکروسکوپی ۲) تغییرات میکروسکوپی. این تغییرات تابع انرژی و شار نوترون، مدت زمان پرتودهی و همچنین دمای نمونه می‌باشد. از جمله تغییرات ماکروسکوپی می‌توان به تغییر خواص اپتیکی، مکانیکی و شیمیایی نمونه از جمله تغییر اوربیتالهای ملکولی، اشاره کرد. از تغییرات میکروسکوپی می‌توان به تغییر فاز بلوری و ایجاد عیوب نقطه‌ای از قبیل دررفتگی‌ها، بی‌نظمی‌ها، تغییر کشسانی و افزایش شکنندگی می‌شود. تخریب بر اثر تابش‌دهی نوترون باعث کوتاه شدن عمر مفید ابزار و قطعات دستگاه‌های مورد استفاده در محیط نوترونی می‌شود.

در این پایان نامه با استفاده از چشمه نوترون‌های سریع با انرژی متوسط  $4/\text{Mev}$  برای تابش‌دهی نمونه‌ها و دستگاه طیف‌گیری اشعه ایکس، به بررسی تغییرات میکروسکوپی بر روی سه کانی با نام‌های معدنی بریل، باریت و میکا که از خانواده سیلیکات و سولفات‌ها هستند و در صنعت از جمله ساخت لوله‌های سوختی، سخت کردن آلیاژها و صنعت الکترونیک کاربرد دارند، با استفاده از طیف سنجی اشعه ایکس آنها می‌پردازیم.

# فصل اول

## نوترون

۱-۱ مقدمه:

پس از سازمان‌دهی مکانیک کوانتومی، در شروع قرن ۱۹ مطالعات فراوانی در رابطه با نور و موجی بودن آن صورت گرفت. رخدادهایی مانند تداخل و پراش توسط فرانک‌هوفر<sup>۱</sup> مورد مطالعه قرار گرفت. این مطالعات باعث مدل‌سازی مکانیک موجی شد. همین که خاصیت موجی بودن نور در کنار خاصیت ذره‌ای آن به اثبات رسید، تلاش‌ها برای پی بردن به ماهیت نور آغاز شد که باعث مطرح شدن دو سوال اساسی شد:

(۱) نور چگونه تولید می‌شود؟ (۲) نور چگونه تداخل می‌کند؟

---

<sup>۱</sup> Frank huffer

اولین سوال منجر به آزمایش‌های وین شد و نتیجه آن نمودارهای سهمی شکل تولید شده از منابع گذاخته (جسم سیاه)<sup>۱</sup> و فرمول‌های تجربی مربوط به آن نمودارها شد.

در این حین پلانک توانست یک توجیه کوانتومی برای نمودارهای وین ارائه کرده و فرمول تجربی او را از طریق ریاضی اثبات کند. این موضوعات همزمان با تحولات شیمی بود. سوالاتی چون برهمکنش اتم‌ها و ملکول‌ها و ساختمان داخلی آنها مطرح بود که تامسون مدل کیک کشمشی را ارائه نمود. طبق این مدل بارهای منفی در سراسر اتم پخش بوده و بارهای مثبت به تعداد مساوی با بارهای منفی همچون دانه‌های کشمش در داخل این دریای الکترونی به طور همگن پخش هستند.

بعد از کشف سنگ معدن رادیوم و اورانیوم، معنای تابش و نور در کنار هم قرار گرفت و آزمایش‌ها برای یافتن پاسخ سوال دوم آغاز شد و نحوه برهمکنش این تابش‌های نامرئی با مواد مختلف موضوع جالب و با اهمیتی شد. رادرفورد<sup>۲</sup> و همکارانش این مهم را به عهده گرفتند. آنها تابش‌های حاصل از مواد رادیو اکتیو را به مواد مختلف تابانده و نحوه برهمکنش آن را با ماده به طور کمی و تجربی مورد مطالعه قرار دادند. از جمله آزمایش‌های بسیار شاخص، تاباندن ذره  $\alpha$  به مواد سنگین و سبک مانند طلا بود. قبل از انجام آزمایشات، آنها انتظار داشتند که درست همان الگوی برهمکنشی را که نور با شکاف و سوراخ انجام می دهد، مشاهده نمایند. اما در کمال تعجب شدت پرتوهای با زوایای بزرگتر (نزدیک  $180^\circ$ ) بسیار زیادتر از مقدار پیش بینی شده مدل پراش بود. دو جواب برای این مشاهده وجود داشت:

الف) ذرات  $\alpha$  با توده الکترونیکی<sup>۳</sup> اتم برهمکنش می کند و به عقب بر می گردد؟

ب) برهمکنش توسط قسمتی به نام قسمت مثبت اتم صورت می گیرد؟

از این دو امکان، مورد اول به دلیل اینکه الکترون دارای جرم ناچیز است، قادر به پس زنی ذره سنگینی چون  $\alpha$  از نقطه نظر پایداری کمیات انرژی و تکانه نبود، نادرست به نظر می آمد. پس مورد دوم چشمگیر و امیدوار کننده بود. رادرفورد با این استدلال و با توجه به ختنی بودن اتم نتیجه گرفت که این ناحیه از نظر الکتریکی مثبت بوده و نسبت به الکترونها خیلی جرم دار است. ایشان طی یک تحلیل پارامتریک نشان داد که ذره  $\alpha$  در ناحیه

<sup>۱</sup> Black Body

<sup>۲</sup> Rutherford

<sup>۳</sup> Electronic heap

کوچکی از فضا متاثر از برهمکنش کولنی پراکنده می‌شود. این منطقه حدود ۴ الی ۶ مرتبه مقداری نسبت به ابعاد اتم محدودتر است. اندازه گیری‌های به عمل آمده رابطه شعاع هسته با عدد جرمی را بصورت  $R = 1.2 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \text{ (m)}$  نشان داد که در مقایسه با شعاع اتم یعنی  $10^{-8} \text{ (cm)}$  بسیار کوچک بود. پس از حصول این نتایج در سالهای ۱۹۱۰ نظریه هسته‌ای اتم بوهر<sup>۱</sup> و رادرفورد مطرح شد و از آن پس فیزیک هسته‌ای کار خود را به عنوان شاخه‌ای از علم فیزیک آغاز کرد. بعد از مدل اتمی بوهر، ماکس بورن و سپس هایزنبرگ با توجه به کشف نوترون و نام گذاری ذرات مثبت با نام پروتون، مدل هایزنبرگی را برای اتم ارائه کرد.

## ۱-۲ مدل هایزنبرگی

هایزنبرگ هسته را متشکل از ماده به هم پیوسته‌ای از کنار هم قرار گرفتن پروتون‌های مثبت و نوترون‌های خنثی پیشنهاد نمود. بعد از آن خواص هسته‌ای مطرح شدند که عبارتند از: ۱) خواص مستقل از زمان؛ مانند بار الکتریکی هسته، اندازه شعاع هسته و تکانه زاویه‌ای (اسپین) هسته. ۲) خواص وابسته به زمان؛ نظیر واپاشی تابش  $\alpha$ ، حالت‌های برانگیخته و تبدیلات هسته‌ای [۲].

کاوشگری و مطالعات تغییرات وابسته به زمان با بمباران هسته توسط هستکها<sup>۳</sup> (نوترون، الکترون و ...) در دزهای مختلف انرژی صورت گرفت.

به این ترتیب برای یک عنصر فرم کلی  ${}^A_Z X$  نسبت داده شد که در آن A تعداد هستکها (عدد جرمی) و Z تعداد پروتون‌های هسته است. آزمایش‌هایی که برای تعیین اندازه هسته‌ها توسط بمباران آن با الکترون‌های پر-انرژی (۱۰۰ Mev) و نوترون‌ها و پروتون‌های با انرژی ۲۰ Mev انجام شده، نشان دهنده این است که حجم هسته‌ها متناسب با تعداد هستک‌های داخل هسته‌ها (A) می‌باشد. بنابراین شعاع هسته را می‌توان به صورت زیر بدست آورد.

$$V_{nucleus} = \frac{4}{3} \pi R^3 \propto A \Rightarrow R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (1-2-1)$$

<sup>۱</sup> Bohr  
<sup>۲</sup> Fussion  
<sup>۳</sup> Nucleon



در این فرمول  $R_0$  مقدار ثابت بوده و هوفستادر<sup>۱</sup> مقدار آن را برابر  $(m) \times 10^{-10} = (1/2 \pm 0.1) \times 10^{-10}$  بدست آورد. مقدار این ثابت برای پراکندگی نوترون کمی متفاوت از الکترون است و این موضوع بیانگر عدم توزیع یکنواخت بار هسته‌ای در درون هسته می‌باشد.

### ۳-۱ کشف رادیواکتیویته

قبل از ارائه مدل هایزنبرگ هیسته، مطالعه روی اتم بسیار رواج داشت. بکرل<sup>۲</sup> در ضمن مطالعه خواص فلوروسانی و فسفرسانی املاح مختلف، خاصیت جدیدی در املاح اورانیوم مشاهده کرد که آن تابش مربوط به املاح تهیج شده<sup>۳</sup> بوسیله نور نبود. وی دریافت نمک‌های اورانیومی که ماهها دور از اشعه تهیج کننده قرار داشتند هنوز اشعه نافذی را از خود تابش می‌کنند، بدون آنکه کاهش محسوسی در شدت آنها دیده شود [۵].

بکرل تشابه این تابش را با اشعه ایکس<sup>۴</sup> درک نمود و دریافت که تابش املاح اورانیوم ناشی از خواص فلوروسانی ماده نبوده بلکه منشا آن فلز اورانیوم است. چنین خاصیت تشعشع خود به خودی اجسام، رادیواکتیویته نامیده شد. عناصری که چنین خاصیتی دارند را عنصر رادیواکتیو (بعد از کشف هسته به نام هسته‌های رادیواکتیو) می‌نامند. بررسی تفصیلی خواص مختلف این تشعشع نظیر قدرت نفوذ و یونیزاسیون نشان می‌دهد که سه نوع تشعشع (یا سه مولفه) متفاوت موجود می‌باشد:

۱) اشعه آلفا  $\alpha$  ۲) اشعه بتا  $\beta$  ۳) اشعه گاما  $\gamma$

### ۴-۱ قانون تجزیه رادیواکتیو

تجزیه هر هسته رادیواکتیو با تابش یک الکترون یا یک هسته اتم هلیم همراه است. این پدیده هسته اولیه را تغییر می‌دهد، به طوری که تعداد اتم‌ها کاهش می‌یابد. به علاوه مشاهدات بوسیله آشکارسازها نشان می‌دهد که این تجزیه‌ها بطور اتفاقی رخ می‌دهد و فقط از قوانین مکانیک آماری پیروی می‌کند. در ابتدا استفاده از قوانین مکانیک آماری برای سهولت در کار بوده است اما مکانیک موجی استفاده از قوانین آماری را لازم دانسته است [۷]. کشف

<sup>۱</sup> Hofstardter

<sup>۲</sup> Becrell

<sup>۳</sup> excited

است. غیر قابل پیش بینی بودن تجزیه تک تک هسته‌های رادیو اکتیو برای اولین بار نشان داد که روش‌های اندازه-گیری فیزیک علوم طبیعی قرن ۱۹ باید مورد تجدید نظر قرار گیرد. بنابراین رادیواکتیو دو جنبه تکان‌دهنده داشت. اولاً نشان داد که غیر قابل تغییر بودن صحیح نیست و یک عنصر می‌تواند به عنصر دیگری تبدیل شود و ثانیاً رادیو اکتیو تحت تاثیر عوامل تغییردهنده قرار نمی‌گیرد. با این توضیحات به بیان کمی قضیه می‌پردازیم.

فرض کنیم در زمان  $t=0$  تعداد اتم‌های رادیواکتیو  $N_0$  باشد. تجربه نشان می‌دهد که تعداد تجزیه در

واحد زمان یا اکتیویته  $\left(\frac{-dN}{dT}\right)$  متناسب با تعداد اتم‌های اولیه است. ضریب تناسب را با  $\lambda$  نشان داده و آن را

ضریب تجزیه<sup>۱</sup> یا ضریب کاهش<sup>۲</sup> می‌نامند. بنابراین رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$\left(\frac{-dN}{dT}\right) = \lambda N \quad (1-4-1)$$

مقدار  $dN$  باید عدد درستی باشد، اما اگر در مقایسه با  $N$  عدد کوچکی باشد،  $N$  تقریباً به طور

پیوسته تغییر می‌کند و ما می‌توانیم  $dN$  را از لحاظ ریاضی مقدار بسیار کوچکی در نظر بگیریم. با انتگرال‌گیری و

رعایت شرایط اولیه داریم<sup>۳</sup>:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1-4-2)$$

## ۱-۵ نیمه عمر متوسط یک رادیواکتیو

نیمه عمر<sup>۴</sup> یک نمونه فاصله زمانی لازم برای تقلیل تعداد اتم‌های تجزیه نشده به نصف اولی (کاهش

اکتیویته  $a$  به نصف مقدار اولیه) تعریف می‌گردد. بنابراین با قرار دادن  $t = t_1 = T$  و  $N = N_0 / 2$ ، خواهیم

داشت.

$$N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow T = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda \quad (1-5-1)$$

<sup>۱</sup> Dis integration constant

<sup>۲</sup> Decay constant

<sup>۳</sup> پیوست شماره ۱

<sup>۴</sup> Half-time

با توجه به اینکه واحد T ثانیه است، لذا واحد  $\lambda$  برابر (ثانیه<sup>-۱</sup>) خواهد بود. طبیعت نمایی تجزیه در معادله (۱-۴-۲) نشان‌دهنده آنست که تجزیه کامل یک نمونه رادیواکتیو، زمان بی‌نهایتی لازم است. تک تک اتم‌های رادیواکتیو نیمه عمری بین صفر و بی‌نهایت دارند. به این ترتیب صحبت از نیمه عمر متوسط بی‌مورد نخواهد بود.

$$\tau = \frac{t_1 dN_1 + t_2 dN_2 + t_3 dN_3 + \dots}{dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots} = \int_0^{N_0} t dN \quad (1-5-2)$$

و این یعنی  $dN_1$  هسته عمری برابر  $t_1$ ،  $dN_2$  هسته عمری برابر  $t_2$  و از این قبیل دارند. با جاگذاری

$dN$  از رابطه (۱-۴-۲)، رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\tau = \frac{-\int_0^{N_0} \lambda t N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (1-5-3)$$

با اعمال شرایطی که بتوان  $\lambda$  را در ماده تغییر داد، نیمه عمر اتم‌های آن ماده و در نتیجه زمان تلاشی آن

تغییر خواهد کرد.

## ۱-۶ سری‌های رادیواکتیو

هسته‌های رادیواکتیو را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: الف) آنهاییکه در طبیعت یافت می‌شوند و رادیو-

اکتیو طبیعی نامیده می‌شوند و در قسمت قبل به نحوه تجزیه آنها اشاره شد. تعداد این نوع هسته‌ها کم بوده و از ۷۰ تجاوز نمی‌کند و می‌توان آنها را به سه دسته تقسیم‌بندی کرد.

$$A = \epsilon n + 3 \quad \text{سری اکتانیم (۳)} \quad A = \epsilon n + 2 \quad \text{سری اورانیوم (۲)} \quad A = \epsilon n \quad \text{سری توریم (۱)}$$

علت این است که عدد جرمی اتمها در هر سری از این روابط پیروی می‌کند. مقدار  $n$  از یک عنصر به عنصر بعدی

یک واحد تقلیل می‌یابد و مقدار  $n$  برای هر سری متفاوت است. ایزوتوپ مادر هر سه سری دارای نیمه عمر بسیار

طولانی است که به ترتیب برای سریهای اورانیوم، اکتانیم و توریم برابر  $4/5 \times 10^9$  سال،  $7/15 \times 10^8$  سال و

$1/39 \times 10^{10}$  سال می‌باشد.

ب) آنهاییکه در آزمایشگاه ساخته می‌شوند و رادیواکتیو مصنوعی نامیده می‌شوند که تاکنون بیش از ۱۰۰۰ نوع

ایزوتوپ از این نوع با نیمه عمرهای قابل توجه در آزمایشگاه بدست آمده است. برای تکمیل سری‌های رادیواکتیو،

سری دیگری که بطور مصنوعی تهیه می‌شود، در نظر می‌گیریم. عنصر اول این سری (پلوتونیوم)  $^{241}_{94}Pu$  و عنصر

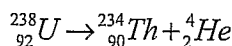
پایدار انتهایی  $^{209}_{83}Bi$  می‌باشد. این سری را سری پنتیوم یا  $(4n+1)$  می‌نامند، زیرا  $^{237}_{91}Np$  در این سری طولانی-ترین نیمه عمر یعنی  $4.4 \times 10^6$  سال را داراست.

مواد رادیواکتیو در نتیجه تلاشی‌های پی‌درپی تجزیه می‌گردند. ایزوتوپ رادیواکتیو اولی، مادر و حاصل تجزیه آن، دختر نامیده می‌شود. خود هسته دختر نیز ممکن است رادیواکتیو باشد، در این صورت محصول تجزیه آن نوه دختری نامیده می‌شود. قواعد رادرفورد-سودی برای موازنه معادلات اندرکنش‌های، به ترتیب زیر است:

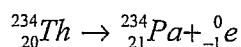
(۱) کل بار الکتریکی (عدد اتمی) یا جمع جبری بارها قبل از تجزیه و بعد از تجزیه باید با هم برابر باشند.

(۲) جمع عددهای جرمی ذرات اولیه بایستی برابر جمع عددهای جرمی ذرات انتهایی باشند.

بنابراین اگر اورانیوم با عدد اتمی ۹۲، ذره آلفا تابش کند، اتم دختر بایستی دارای عدد اتمی ۹۰ باشد که عنصر توریم می‌باشد. به همین ترتیب چون عدد جرمی اورانیوم ۲۳۸ است و عدد جرمی ذره آلفا ۴ است، عدد جرمی توریم می‌بایستی ۲۳۴ باشد. هر دو قاعده را می‌توان در معادله زیر خلاصه نمود.



اگر اتم مادر تابش کننده  $\beta$  باشد، عدد اتمی دختر باید یکی بیش از عدد اتمی مادر باشد زیرا ذره  $\beta$  یک الکترون منفی است و همچنین چون جرم الکترون کم است، اعداد جرمی مادر و دختر یکی خواهند بود.



## ۷-۱ تشعشعات هسته‌ای

در سال ۱۹۳۰ دو دانشمند به نامهای بت<sup>۱</sup> و بکر<sup>۲</sup> توانستند تشعشع گامای حاصل از فلز رادیواکتیو مصنوعی را کشف کنند و برای این کار هسته اتمهای لیتیوم ( $Li$ )، برلیم ( $Be$ )، بر ( $B$ ) و سایر عناصر سبک را با ذرات  $\alpha$  حاصل از فلز رادیواکتیو پلونیوم ( $Po$ ) بمباران کرده و با استفاده از آشکارساز سوزنی شکل تشعشعات گاما  $\gamma$  را مشاهده کردند. این محققین با مقایسه جذب اشعه گاما توسط سرب با جذب اشعه حاصل از رادیواکتیو طبیعی، دریافتند که انرژی این دو تقریباً یکسان است. آنها تابش گامای حاصل از بمباران  $Li$  را به تحریک هسته از طریق

<sup>۱</sup> bothe

<sup>۲</sup> becker