

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بررسی اثر تابش نوترون های سریع بر ساختار بلور کوارتز

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد فیزیک

ارائه دهنده:

حسن امینی قشلاق

دانشکده علوم

گروه فیزیک

اساتید راهنما:

دکتر رسول خدا بخش دکتر محمد طالبیان

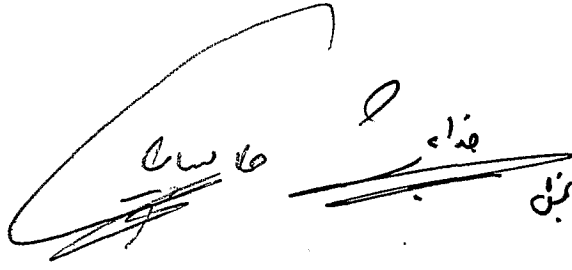
۱۳۸۹/۴/۸

اطلاعات مدرک علمی برون
تسمیه مدرک

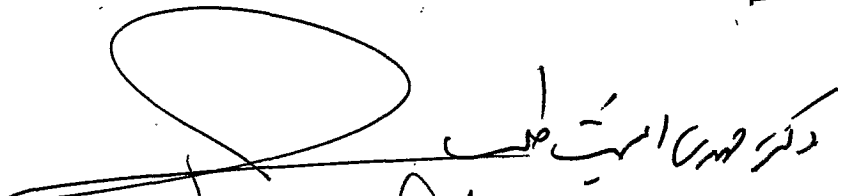
زمستان ۱۳۸۸


۱۳۸۵۵۹


پایان نامہ ^{۱۰} **راہنما میں فہرست**
 بہ تاریخ ۱۱/۱۱/۸۸ شماره
 و نمبر ۱۸، قرار گرفت۔
 مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبہ ^۱
 کا

۱- استاد راہنما و رئیس هیئت داوران:
 
 فدا
 دکتر فدا

۲- استاد مشاور:

۳- داور خارجی:
 
 دکتر حیرا

۴- داور داخلی:
 
 دکتر منور

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی:
 
 دکتر ازام

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که همیشه در حل مشکلات مرا یاری کرده و همیشه
مشوق بنده بوده اند

تقدیم به همسر مهربانم که سختی های این راه را تحمل کرده و همواره مایه پشتکار
من بوده است

تقدیر و تشکر

از اساتید راهنمای گرامیم آقای دکتر رسول خدابخش و آقای دکتر محمد طالبیان که در طول این دوره، راهنمایی های ایشان همواره نشان دهنده راه بنده بوده است، کمال تشکر را دارم.

همچنین از خانواده محترم که در این مدت از حمایت هایشان نسبت به من دریغ نکرده اند، صمیمانه سپاس گذارم.

و در پایان از کارشناسان محترم گروه فیزیک آقای عبدی، مسئول آزمایشگاه XRD و آقای اوستان، مسئول آزمایشگاه هسته ای، که در طول مراحل پایان نامه مرا بسیار راهنمایی کردند تقدیر و تشکر می کنم.

فهرست مطالب

صفحه

چکیده.....	۱
فصل اول: فیزیک نوترون.....	
۱-۱ مقدمه.....	۲
۱-۲ اجزای هسته.....	۴
۱-۳ اندازه هسته و توزیع نوکلئونها.....	۵
۱-۴ انرژی بستگی هسته.....	۷
۱-۴-۱ دوترون.....؛	۹
۱-۴-۲ انرژی بستگی دوترون.....	۹
۱-۵ واپاشی رادیو اکتیو.....	۱۱
۱-۵-۱ قانون واپاشی رادیو اکتیو.....	۱۱
۱-۵-۲ نیمه عمر و عمر متوسط.....	۱۲
۱-۵-۳ اکتیویته.....	۱۳
۱-۵-۴ قواعد موازنه واپاشی و سری های رادیو اکتیو.....	۱۳
۱-۶ انرژی واکنش های هسته ای.....	۱۵
۱-۷ سطح مقطع مؤثر.....	۱۶
۱-۸ برهمکنش ذرات فرودی با هدف و سطح مقطع ماکروسکوپی و پویش آزاد.....	۱۷
۱-۹ سطح مقطع مخلوط ها و مولکول ها.....	۱۸
۱-۱۰ نوترون.....	
۱-۱۰-۱ تاریخچه نوترون.....	۱۹
۱-۱۰-۲ برهمکنش های نوترون با ماده.....	۲۰

۲۱	۱-۱۰-۳ تقسیم بندی واکنشهای نوترونی
۲۴	۱-۱۰-۴ خواص هسته مرکب در ترازهای مختلف انرژی
۲۵	۱-۱۱ چشمه های نوترون
۲۶	۱-۱۱-۱ چشمه $\alpha - Be$
۲۷	۱-۱۱-۲ چشمه فوتو نوترون
۲۷	۱-۱۱-۳ شکافت خود به خود
۲۸	۱-۱۱-۴ واکنش های هسته ای
۲۹	۱-۱۱-۵ چشمه راکتور
۲۹	۱-۱۲ محاسبه قدرت چشمه های نوترون
۳۱	۱-۱۳ آشکار سازی نوترون های کند
۳۳	۱-۱۳-۱ آشکار ساز بر پایه بور
۳۳	۱-۱۳-۲ آشکار ساز بر پایه 6Li
۳۴	۱-۱۳-۳ آشکار ساز بر پایه 3He
۳۴	۱-۱۴ تاثیر تابش های هسته ای بر ساختار مواد بلوری
۳۶	۱-۱۴-۱ تعداد جابجایی های اتم به ازای هر برخورد پراکندگی نوترون
۳۸	۱-۱۴-۲ اثرات دما و تحرک
	فصل دوم: بلور شناسی
۴۰	۲-۱ مقدمه
۴۲	۲-۲ تعاریف اولیه
۴۴	۲-۳ ساختمان داخلی بلور ها

- ۴۴..... ۲-۳-۱ شبکه های چهارده گانه براوه.....
- ۴۶..... ۲-۳-۲ محورهای بلور شناسی.....
- ۴۷..... ۲-۴ گروه های نقطه ای.....
- ۴۸..... ۲-۵ دستگاه شاخص گذاری صفحات بلور.....
- ۵۰..... ۲-۵-۱ فاصله بین صفحات.....
- ۵۲..... ۲-۵-۲ حجم واحد شبکه.....
- ۵۲..... ۲-۵-۳ فاکتور کسر به هم پکیدگی اتمی (تنگ پکیدگی).....
- ۵۳..... ۲-۵-۴ عیب های نقطه ای و دررفتگی ها.....
- ۵۵..... ۲-۶ بلورشناسی با اشعه X.....
- ۵۶..... ۲-۶-۱ طیف اشعه X.....
- ۵۸..... ۲-۶-۲ شرایط پراش و معادله براگ.....
- ۶۰..... ۲-۶-۳ روش های بلورشناسی.....
- ۲-۷ شبکه وارون.....
- ۶۲..... ۲-۷-۱ تعریف شبکه وارون.....
- ۶۳..... ۲-۷-۲ منطقه اول بریلوئن.....
- ۶۳..... ۲-۸ عامل ساختار.....
- ۶۵..... ۲-۹ عامل شکل اتمی.....
- ۶۶..... ۲-۱۰ ساختار هگزاگونال و مکعبی مرکز سطحی.....
- ۶۸..... ۲-۱۱ پیزوالکتریسیته.....
- ۷۰..... ۲-۱۲ اثر پیرو الکتریسیته.....
- فصل سوم: بررسی اثر تابش نوترون های سریع بر بلور کوارتز.....

۷۱	۳-۱ مقدمه.....
۷۲	۳-۲ کوآرتز.....
۷۷	۳-۲-۱ تقسیم بندی کوآرتز از لحاظ اندازه و شکل بلوری.....
۷۹	۳-۳ چشمه نوترون مورد استفاده در آزمایش.....
۸۰	۳-۴ دستگاه XRD.....
۸۱	۳-۵ مراحل انجام آزمایش.....
۹۱	۳-۶ بحث و نتیجه گیری.....
۹۲	پیوست ۱: فرمول نیمه تجربی جرم.....
۹۴	پیوست ۲: رابطه برایت-ویگنر.....
۹۵	پیوست ۳: طیف نگار جرمی.....
۹۹	فهرست مراجع.....

فهرست اشکال

صفحه

- شکل (۱-۳-۱) چگالی بار هسته ای بر حسب شعاع ۶
- شکل (۱-۴-۱) انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون ۹
- شکل (۱-۱۰-۱) سطح مقطع پراکندگی الاستیک برای $^{16}_8O$ ۲۳
- شکل (۱-۱۰-۲) سطح مقطع پراکندگی الاستیک برای $^{238}_{92}U$ ۲۳
- شکل (۱-۱۳-۱) ارتفاع پالس ها برای آشکارساز BF_3 ۳۳
- شکل (۲-۲-۱) یاخته بسیط ویگنر-سایتر برای شبکه مکعبی مرکز حجمی ۴۴
- شکل (۲-۳-۱) ثوابت شبکه بر روی محورهای بلورشناسی ۴۶
- شکل (۲-۴-۱) ترکیب محور دورانی سه گانه با یک صفحه انعکاسی ۴۸
- شکل (۲-۵-۱) صفحات بلوری بلور مکعبی ۴۹
- شکل (۲-۵-۲) جهات بلوری در ساختار مکعبی ۵۰
- شکل (۲-۵-۳) کاستی های نقطه ای در ساختار بلوری ۵۴
- شکل (۲-۵-۴) دررفتگی بلوری ۵۵
- شکل (۲-۶-۱) طیف اشعه ایکس ساطع شده ۵۸
- شکل (۲-۶-۲) شرط پراش از ساختار بلور ۵۹
- شکل (۲-۶-۳) شماتیک دستگاه XRD به روش لاوه ۶۰
- شکل (۲-۶-۴) شماتیک دستگاه XRD به روش بلور چرخان ۶۱
- شکل (۲-۶-۵) شماتیک دستگاه XRD به روش پودری ۶۱
- شکل (۲-۷-۱) ناحیه اول بریلونن برای یک شبکه مورب مسطح ۶۳
- شکل (۲-۱۰-۱) طرز قرار گرفتن اتم ها در ساختار های fcc و hcp ۶۶

- شکل (۲-۱۰-۲) صفحه‌ها و بردارهای یاخته بسیط و محورهای بلور شناسی ساختار fCC ۶۷
- شکل (۲-۱۰-۳) پایه و بردارهای پایه ساختار هگزا گونال..... ۶۷
- شکل (۲-۱۱-۱) نمایش بردار قطبش در بلورهای متفاوت از لحاظ قطبش..... ۶۸
- شکل (۲-۱۱-۲) قطبیدگی مواد سرامیکی برای تولید اثر پیزوالکتریک..... ۶۹
- شکل (۲-۱۱-۳) نمایش بردار میدان در اثر کرنش و بردار کرنش در اثر میدان..... ۶۹
- شکل (۳-۲-۱) بستگی دمایی ساختار کوارتز..... ۷۳
- شکل (۳-۲-۲) شماتیک چهار وجهی SiO_2 در بلور کوارتز..... ۷۶
- شکل (۳-۲-۳) شماتیک بلور کوارتز..... ۷۶
- شکل (۳-۳-۱) طیف انرژی نوترون حاصل از چشمه..... ۷۹
- شکل (۳-۳-۲) شماتیک چشمه نوترون ($Am - Be$)..... ۷۹
- شکل (۳-۴-۱) تصویر داخلی دستگاه XRD..... ۸۱
- شکل (۳-۵-۱) طیف پرتو ایکس بلور کوارتز قبل از پرتو دهی (نمونه شاهد)..... ۸۲
- شکل (۳-۵-۲) طیف پرتو ایکس بلور کوارتز بعد از هشت روز (۱۹۰ ساعت) تابش دهی..... ۸۳
- شکل (۳-۵-۳) طیف پرتو ایکس بلور کوارتز بعد از بیست و هفت روز (۶۷۰ ساعت) تابش دهی..... ۸۴
- شکل (۳-۵-۴) طیف پرتو ایکس بلور کوارتز بعد از پنجاه روز (۱۲۰۰ ساعت) تابش دهی..... ۸۵
- شکل (۳-۵-۵) طیف پراش پرتو ایکس بلور کوارتز بعد از صد و نوزده روز (۲۸۵۶ ساعت) تابش دهی..... ۸۶
- شکل (۳-۵-۶) نمودار تغییرات حجم سلول واحد بر حسب زمان تابش دهی..... ۸۷
- شکل (۳-۵-۷) تغییرات سطح مقطع واکنش $O(n, \alpha) C$ بر حسب انرژی نوترون..... ۸۹
- شکل (۳-۵-۸) سطح مقطع پراکندگی الاستیک برای $^{16}_8O$ ۸۹

فهرست جداول

صفحه

- جدول (۱-۵-۱) سری های رادیواکتیو اورانیوم، اکتینیم و توریوم..... ۱۴
- جدول (۱-۱۳-۱) واکنش نوترون با برخی از عناصر و انرژی محصولات آنها..... ۳۲
- جدول (۲-۱-۱) قدرت پراکندگی نوترون برای برخی از عناصر..... ۴۲
- جدول (۲-۳-۱) شبکه های چهارده گانه براوه..... ۴۵
- جدول (۲-۵-۱) مشخصات صفحات هفت ساختار اصلی بلورشناسی..... ۵۱
- جدول (۲-۵-۲) حجم یاخته بسیط هفت ساختار اصلی بلور شناسی..... ۵۲
- جدول (۲-۶-۱) طول موج $K\alpha$ برخی از فلزات..... ۵۸
- جدول (۳-۲-۱) بعضی از مشخصات ساختار های مختلف کوارتز..... ۷۳
- جدول (۳-۲-۲) اطلاعات مربوط به بلور کوارتز در دماهای مختلف..... ۷۵
- جدول (۳-۵-۱) مشخصات طیف سنجی بلور کوارتز نمونه شاهد..... ۸۲
- جدول (۳-۵-۲) مشخصات طیف سنجی بلور کوارتز بعد از هشت روز (۱۹۰ ساعت) تابش دهی..... ۸۳
- جدول (۳-۵-۳) مشخصات طیف سنجی بلور کوارتز بعد از بیست و هفت روز (۶۷۰ ساعت) تابش دهی..... ۸۵
- جدول (۳-۵-۴) مشخصات طیف سنجی بلور کوارتز بعد از پنجاه روز (۱۲۰۰ ساعت) تابش دهی..... ۸۶
- جدول (۳-۵-۵) مشخصات طیف سنجی بلور کوارتز بعد از صد و نوزده روز (۲۸۵۶ ساعت) تابش دهی..... ۸۷
- جدول (۳-۵-۶) سطح مقطع های ایزوتوپ های دو عنصر اکسیژن و سیلیکون..... ۸۸

چکیده

برهمکنش نوترون با مواد اثراتی را روی ماده ایجاد می کند. مثلاً تابش نوترون بر یک بلور ممکن است سبب تغییر ساختار بلور شود یا اگر ماده دی الکتریک باشد تغییراتی را در خاصیت دی الکتریکی آن ایجاد کند و ... ایجاد کند. ولی در کل تغییراتی که در ماده ایجاد می کند به دو دسته تقسیم می شود: ۱- تغییرات میکروسکوپی ۲- تغییرات ماکروسکوپی، که از جمله تغییرات میکروسکوپی می توان به تغییرات در عیب های شبکه بلوری و یا ایجاد عیوب نقطه ای در ساختار شبکه بلور اشاره کرد. از جمله تغییرات ماکروسکوپی می توان به تغییرات خواص اپتیکی و یا تغییر خواص دی الکتریک و یا تغییر در خاصیت لومینسانس یا پیزوالکتریک ... ماده اشاره کرد.

به همین دلیل بررسی اثر تابش نوترون بر ویژگی های مواد به خصوص موادی که در محیط های نوترونی قرار می گیرند، بسیار پر اهمیت است. لازم است که اشاره کنیم تغییراتی که ممکن است در یک ماده روی دهد، به انرژی و شار نوترونی تابشی بستگی دارد.

در این پایان نامه از چشمه نوترونی $Am - Be$ که انرژی نوترون های گسل شده از چشمه به طور متوسط $4,4 MeV$ است و در ناحیه نوترون های سریع قرار می گیرد، استفاده کردیم. تأثیر این تابش را بر ساختار بلوری کوآرتز بررسی کردیم و تغییرات ایجاد شده را به وسیله طیف سنجی اشعه ایکس مورد بررسی قرار دادیم. علت انتخاب این ماده هم به خاطر کاربرد این ماده در صنعت به دلیل ویژگی پیزوالکتریکی این ماده، بوده است. شاید با بررسی این تغییرات بتوان کاربرد های آن را گسترش داد.

فصل اول

فیزیک نوترون

۱- مقدمه

فیزیک هسته ای یک قرن پیش در طی دوره ده ساله حیرت انگیز مابین سالهای ۱۸۹۵ و ۱۹۰۵ هنگامی که همه پایه های عملی فیزیک مدرن پایه گذاری شده بود، شروع شد. این دوره با اتفاق غیر منتظره لوله خلاء کروک^۱ شروع شد: اشعه ایکس رونتگن^۲ در سال ۱۸۹۵ و الکترونهای تامسون، در سال ۱۸۹۷، که اولین ذره بنیادی کشف شده بود. لورنتس و زیمن تئوری الکترون و تاثیر مغناطیس بر روی تابش را توسعه دادند. پدیده شناسی کوانتومی در دسامبر ۱۹۰۰ با معرفی ثابت پلانک در نتیجه پیشنهاد انیشتین در سال ۱۹۰۵، که به نوعی بیان کننده فوتون است، همراه بود. در سال ۱۹۰۵، انیشتین تئوری نسبیتی و همچنین حرکت براونی را مطرح کرد، و پیروزی نهایی تئوری آماری بولتزمن، یک سال قبل از مرگ او بود فیزیک هسته ای، بعد از کشف انتقاد آمیز رادیواکتیویته بوسیله بکرل^۳ در سال ۱۸۹۶ شروع شد.

با بررسی تاریخ علم، می توان متقاعد شد که چند دلیل اساسی و منطقی بر این حقیقت وجود دارد که تمام این کشفیات تقریباً بطور همزمان بعد از پیروزی علمی قرن نوزدهم بوده است. رادیواکتیویته یک استثنا بود که چند سالی زودتر کشف شد. کشف رادیواکتیویته و فیزیک هسته ای بنیاد مهم است. این کشف بطور مستقیم از طریق مدل اتمی منظومه ای رادرفورد و تفسیر بوهر از طیف هیدروژن، فیزیک کلاسیک را به مکانیک کوانتومی راهنمایی کرد. که به ترتیب منجر شد به

^۱Crooke s vacuum tube

^۲Roentgen

^۳Becquerel

فیزیک اتمی، فیزیک حالت جامد، و علم مواد، فیزیک هسته ای، بخاطر محصول فرعی ذرات بنیادی مهم فیزیک و کشف کوآرک ها، لپتونها، و برهمکنش آنها اهمیت بسزایی داشته است. این دو حوزه از لحاظ مفهومی و آزمایشگاهی واقعا غیر قابل تفکیک هستند.

بوسیله فیزیک هسته ای، می توان ستاره شناسی را که مطالعه مسیر ستاره ها بود به اختر فیزیک که مطالعه درون ستاره ای است، مربوط کرد. هیچ شکی نیست که نتایج بسیار مهم فیزیک هسته ای در فهمیدن چگونگی مشاهده ترکیب اجزا، اساسا هیدروژن و هلیوم در ستاره ها و کربن و اکسیژن در سیاره ها، و چگونگی تولید آنها بوسیله برهمکنشهای هسته ای در عالم نخستین و ستاره ها اهمیت بسزایی دارد. [2]

بد نیست اکنون گذری بر مدلهای اتمی و هسته ای داشته باشیم. مدلهای اتمی که با گذشت زمان کامل شدند را می توان از مدل اتمی کیک کشمش تامسون در نظر گرفت، در این مدل فرض بر این بود که بارهای منفی در داخل اتم و بارهای مثبت به مقدار مساوی در دریایی از الکترونها همانند کیک کشمش پراکنده شده اند و بعد از آن مدل برجسته رادر فورد پیشنهاد شد، رادرفورد با انجام پراکندگی ذرات آلفا بوسیله لایه نازکی از طلا، ذرات آلفای پراکنده شده در زوایای ۱۸۰ درجه و نزدیک به آن را مشاهده کرد، که با پذیرفتن مدل تامسون که این نتیجه غیر مترقبه بود، و به این نتیجه رسید که باید بارهای مثبت در ناحیه کوچکی از اتم متمرکز شده باشند، که در نتیجه برخورد ذرات آلفا با سد بزرگ کولونی هسته، به عقب برمی گردند. بعد از آن آزمایش مدل اتمی منظومه ای را پیشنهاد داد، که در این مدل بارهای مثبت در مرکز اتم متمرکز شده و بارهای منفی در اطراف هسته در حرکتند. که این مدل نیز بعدها با مشاهدات بیشتر کاملتر شد و الکترونها را در مدارهای ثابت در نظر گرفتند. بعد از آن نیز با مطالعه دقیقتر طیف اتمی و در نظر گرفتن اثرات داخلی اتم و به کمک مکانیک کوانتومی، مدل اوربیتالی اتم شکل گرفت که اکنون مدل قابل قبولی برای اتم می باشد و برای توجیه پدیده های اتمی از این مدل استفاده می کنیم.

همانطور که گفته شد با کشف بکرل و آزمایش رادرفورد فیزیک هسته ای وارد مرحله تازه ای شد و برای هسته مدلهایی پیشنهاد شد. اولین مدل، مدل هایزنبرگ بود که در این مدل، هسته را ساختار پیوسته ای از پروتونها و نوترونها در نظر می گرفت. بعد مدل قطره مایع بود که نسبت به مدل هایزنبرگ کاملتر بود و می توانست تعدادی از پدیده های هسته ای را توجیه کند. این مدل، هسته را همچون یک قطره مایع در نظر می گرفت که خاصیت کشسانی شبیه به قطره دارد و نیروهای داخلی هسته را همانند نیروهای مولکولی قطره مایع در نظر می گرفت و بعد از آن نیز نظریه پوسته ای ارائه شد که در این

مدل برای نوترونها و پروتونها ترازهای انرژی در نظر گرفته می شود، که بعداً در مورد آنها بیشتر بحث خواهد شد. در این مدلها سعی شده بود که بتوانند پدیده های فیزیکی مربوط به هسته ها را توجیه کنند. که از جمله این پدیده ها واپاشی های خودبخودی بعضی از هسته ها و ... را توجیه کنند. هسته ها به سه طریق می توانند به صورت خودبخودی واپاشی انجام دهند. ۱) واپاشی آلفا ز، که در این واپاشی هسته با نشان ${}^A_Z X$ با گسیل یک ذره آلفا (He^{2+}) به هسته با نشان ${}^{A-4}_{Z-2} Y$ تبدیل می شود. ۲) واپاشی بتا ز، در این واپاشی هسته با گسیل یک الکترون یا پوزیترون و یا جذب یک الکترون مداری به هسته ای با نشان ${}^A_{Z\pm 1} Y$ کاهش پیدا می کند. ۳) واپاشی گاما ز، که در این واپاشی هسته با گسیل یک یا چند پرتو گاما به حالت پایدارتری کاهش پیدا می کند البته در نتیجه برخورد هسته ها با یکدیگر یا ذرات دیگر با هسته ممکن است ذرات دیگری مثل پروتون یا نوترون و یا پاره های شکافت دیگری گسیل شوند. که از میان اینها نوترون نقش بسیار مهمی در فیزیک هسته ای بخصوص در راکتورها دارد. به همین دلیل بررسی اثر نوترون بر مواد، بخصوص مواد بکار رفته در محیطهای نوترونی اهمیت بسیاری دارد.

۱-۲ اجزای هسته

کار رادرفورد، بور، و معاصران آنها نشان داد که بار مثبت اتم در ناحیه هسته ای بسیار کوچکی در مرکز اتم قرار دارد، مقدار آن $+Ze$ است، و بخش اعظم (۹۹٫۹ درصد) جرم اتم را تشکیل می دهد. و نیز متوجه شدند که جرم اتمها تقریباً مضرب صحیحی از جرم سبکترین اتم است. این عدد صحیح A را، عدد جرمی می نامیم. هسته هیدروژن از واحد بنیادی بار مثبت تشکیل شده است (یک فرض درست)، و همه هسته های سنگین تر حاوی تعداد صحیح A از این واحد مثبت اند. واحد بنیادی عبارت است از پروتون با بار الکتریکی $+e$ و جرمی برابر با جرم اتم هیدروژن، منهای جرم الکترون و انرژی بستگی. اگر هسته های به جرم A حاوی A پروتون باشد، بار هسته ای آن بجای Ze برابر خواهد بود با Ae ؛ چون برای همه هسته های سنگینتر از هیدروژن $A > Z$ ، بار مثبت هسته در این مدل بیش از اندازه زیاد است. این مشکل را مدل پروتون - الکترون از میان برداشت، که در آن فرض شد (مجدداً نادرست) که هسته حاوی $(A - Z)$ الکترون است. با این فرض ها، جرم هسته در حدود A برابر جرم پروتون می شود (چون جرم الکترون ناچیز است) و بار الکتریکی هسته برابر است با $A(+e) + (A - Z)(-e) = Ze$ که با تجربه سازگار است. اما این مدل چند مشکل بوجود می آورد. اولین

مشکل این است که حضور الکترون در هسته با اصل عدم قطعیت سازگار نیست، زیرا ایجاب می کند انرژی الکترونها بصورت نامعقولی (تقریباً $19 MeV$)، که از انرژی در حال سکون آن بیشتر است، زیاد باشد. مشکل جدی تر با اسپین ذاتی کل مربوط می شود.

مثلاً مشکل اسپین هسته را برای هسته دوتریوم پیش می آید. چون جرم دوتریوم دو برابر جرم هیدروژن معمولی و بار آن برابر بار هیدروژن است، ولی اسپین اندازه گیری شده برای آن ۱ بود. طبق مدل پروتون-الکترون مشکل جرم و بار آن حل می شد ولی اسپین آن طبق این برابر $\frac{1}{2}$ یا $\frac{3}{2}$ می شد که با تجربه سازگاری نداشت. به این دلیل و دلایل دیگر باید این فرض را که الکترون یکی از اجزای هسته است، باید کنار گذاشت.

این معضل در سال ۱۹۳۲ با کشف نوترون، ذره ای با جرم تقریباً برابر جرم پروتون و بدون بار الکتریکی و با اسپین $\frac{1}{2}$ ، حل شد. که بنا به مدل پروتون - نوترون یک هسته متشکل از Z پروتون و $(A - Z)$ نوترون است، که بار کل Ze و جرم کل تقریباً A برابر جرم پروتون را می دهد. پروتون و نوترون بجز از نظر بار الکتریکی، بسیار شبیه هم هستند، و آنها را تحت عنوان نوکلئون طبقه بندی می کنند [۱].

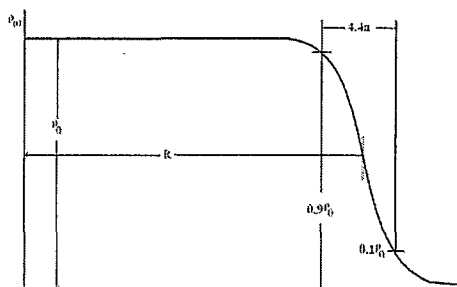
۳-۱ اندازه هسته و توزیع نوکلئونها

یکی از روشهای مستقیم برای مطالعه شکل و اندازه هسته ها، اندازه گیری پدیده های ایجاد شده در اثر پرتاب ذرات به طرف آنهاست. ولی محدودیتی در این روش وجود دارد: طول موج ذراتی که با هسته برخورد می کنند باید تقریباً از مرتبه اندازه هسته و یا کوچکتر از آن باشد. از آنجا که طول موج نور معمولی چندین برابر ابعاد هسته است، برای این منظور مناسب نخواهد بود. فوتونهای با طول موج خیلی کوچک مثل پرتوهای گاما نیز قابل استفاده نیستند، زیرا در اطراف هسته، الکترونها وجود دارند و برهمکنش امواج الکترومغناطیسی با الکترونها خیلی قوی تر از برهمکنش این امواج با هسته است. در این صورت بهتر است از ذراتی مثل الکترونها، پروتونها و نوترون ها استفاده کنیم: که در واقع هر سه این ذرات به کار گرفته می شوند از آنجا که برهمکنش الکترون با هسته به خوبی شناخته شده است، دقیقترین نتایج با پراکندگی الکترون ها بدست می آید. آزمایشهایی برای تعداد زیادی از هسته ها با استفاده از الکترونها فرودی در انرژیهای مختلف انجام شده و

مورد تحلیل قرار گرفته اند. تمام نتایج بدست آمده با فرض اینکه توزیع چگالی نوترونها و پروتونها یکسان اند، تقریباً با تابع توزیع بار زیر قابل توجیه اند

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + \exp[(r - R)/a]} \quad (1-3-1)$$

ترسیمی از تابع (1-3-1) در شکل (1-3-1) نشان داده شده است. در رابطه اخیر ρ_0 چگالی نوکلئون در نزدیکی مرکز هسته، R فاصله ای است که در آن، چگالی هسته به نصف مقدارش در مرکز تقلیل می یابد، و a ضخامت سطحی هسته را نشان می دهد. بطوری که اگر چگالی هسته از ۹۰ درصد ρ_0 به ۱۰ درصد ρ_0 تقلیل یابد برابر با $4.4a$ است.



شکل (1-3-1) چگالی بار هسته ای بر حسب شعاع

نتیجه آزمایشهایی که برای تعیین اندازه هسته ها توسط بمباران الکترونیهای پرانرژی 100 MeV و نوترونها و پروتونهای با انرژی 20 MeV بدست آمده نشان می دهد که حجم هسته ها متناسب با تعداد نوکلئونهای داخل هسته ها، A می باشد. این نتایج نشان می دهد چگالی نوکلئونها تقریباً در داخل هسته ها یکسان می باشد. اگر شعاع هسته ها R باشد، حجم هسته ها $\frac{4}{3}\pi R^3$ بوده بنابر این R^3 متناسب با A می باشد. معمولاً این رابطه بصورت زیر بیان می شود

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (1-3-2)$$

و مقدار ثابت R_0 توسط هوفستادر^۱ برابر $1.0 \times 10^{-15} \text{ m}$ ($1, 2 \pm 0, 1$) تعیین گردید [3] و بدین ترتیب شعاع عناصر مختلف با رابطه زیر بدست می آید.

$$R = 1, 2 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \text{ m} \quad (1-3-3)$$

¹Hofstader

وقتی مقدار R_0 از پراکندگی الکترونها بدست می آید کمی کوچکتر از مقدار بدست آمده از پراکندگی نوترونها است. که نشانگر توزیع غیر یکنواخت بار و جرم هسته ای در درون هسته می باشد. چون پراکندگی بوسیله الکترونها، موقعیت و محل بارهای مثبت یعنی پروتونها را تعیین می کند ولی پراکندگی بوسیله ذراتی مثل نوترون ابعاد منطقه ای را تعیین می کنند که از آن جلوتر نیروهای هسته ای تاثیر می نمایند. یعنی ذرات خشی به دلیل عدم برهمکنش الکترومغناطیسی با هسته قادرند تا مرز فاصله نیروهای هسته ای به هسته نزدیک شوند.

۱-۴ انرژی بستگی هسته ای

انرژی متناظر با جرم هر نوکلئید، $m_N c^2$ عبارت است از حاصل تفریق انرژی جرم اتمی آن نوکلئید، $m_A c^2$ و انرژی جرمی Z الکترون و انرژی بستگی الکترونی کل آن

$$m_N c^2 = m_A c^2 - Z m_e c^2 + \sum_{i=1}^Z B_i \quad (1-4-1)$$

که در آن B_i انرژی بستگی آلمین الکترون است. انرژی بستگی الکترون در اتمهای سنگین از مرتبه ۱۰ تا 100 KeV است، در حالی که انرژی جرم اتمی از مرتبه 1000 MeV است. مقدار این جمله بسیار کوچک است و چون معمولاً در فیزیک هسته ای با اختلاف انرژی ها سروکار داریم این جمله خودبخود حذف می شود.

انرژی بستگی یک هسته عبارت است از اختلاف انرژی بین جرم هسته ${}^A_Z X_N$ و جرم کل پروتونها (Z پروتون) و نوترونها (تشکیل دهنده آن N نوترون)

$$B = [Z m_p + N m_n - (m({}^A_Z X) - Z m_e)] c^2 \quad (1-4-2)$$

که در رابطه فوق ${}^A_Z X_N$ منظور همان جرم اتمی m_A است. اگر مجموع جرم Z پروتون و Z الکترون را بصورت جرم Z اتم خنثای هیدروژن در نظر بگیریم خواهد شد

$$B = [Z m({}^1_1 H) + N m_n - m({}^A_Z X)] c^2 \quad (1-4-3)$$

معمولاً جرمها بر حسب یکای جرم اتمی بیان می شود بهتر است که ضریب تبدیل c^2 را به صورت $\frac{931.5 \text{ MeV}}{u}$ در نظر بگیریم.

انرژی جداسازی نوترون و پروتون هم از جمله اطلاعات مفید دیگری هستند که در فیزیک هسته ای کار برد دارند.

انرژی جداسازی نوترون S_n در هسته A_ZX_N عبارت است از مقدار انرژی لازم برای جدا کردن یک نوترون از هسته، که این

مقدار انرژی برابر است با اختلاف انرژی های بستگی بین هسته A_ZX_N و ${}^{A-1}_ZX_{N-1}$ که برابر می شود با:

$$S_n = B({}^A_ZX_N) - B({}^{A-1}_ZX_{N-1}) = [m({}^{A-1}_ZX_{N-1}) - m({}^A_ZX_N) + m_n]c^2 (1 - \epsilon - \delta)$$

و به همین صورت انرژی جداسازی پروتون S_p برابر است با، مقدار انرژی لازم برای دور کردن یک پروتون از هسته که آن

هم برابر است با

$$S_p = B({}^A_ZX_N) - B({}^{A-1}_{Z-1}X_N) = [m({}^{A-1}_{Z-1}X_N) - m({}^A_ZX_N) + m({}^1_1H)]c^2 (1 - \epsilon - \delta)$$

انرژی جداسازی نوترون و پروتون در فیزیک هسته ای با انرژی یونش در فیزیک اتمی مشابهت دارد، یعنی مقدار آن، میزان

بستگی بیرونی ترین نوکلئون با هسته را نشان می دهد. انرژی جداسازی هم درست مانند انرژی یونش در اتمها، بر ساختار

پیوسته ای هسته ها دلالت دارد. [4,8].

بررسی نظم و ترتیب انرژی بستگی هسته ها مدارک ارزنده ای از ساختار هسته ای بدست می دهد. چون انرژی

بستگی کم و بیش بطور خطی بر حسب A افزایش می یابد. در شکل (1 - 4 - 1) تغییرات B/A بصورت تابعی

از A نشان داده شده است. در این شکل چند ویژگی مهم مربوط به هسته ها جلب توجه می کند. اول اینکه منحنی جز در

ناحیه هسته های بسیار سبک، مقدار نسبتاً ثابتی را نشان می دهد. انرژی بستگی متوسط بسیاری از هسته ها با تقریب 1.0٪ در

حدود 8 MeV برای هر نوکلئون است. و دوم اینکه منحنی در نزدیکی $A = 60$ قله پهنی دارد و در این ناحیه، بستگی هسته

ای حداکثر مقدار خود را دارد. وجود این قله بدین معنی است که به دو طریق می توان به آزاد سازی انرژی دست یافت، در

نواحی پایتتر از $A = 60$ از طریق ترکیب هسته های سبک و تشکیل هسته های سنگینتر، و در نواحی بالاتر از $A = 60$ از

طریق شکستن هسته های سنگین و تبدیل آنها به هسته های سبکتر در هر صورت باید از منحنی انرژی بستگی باید بالا رفت،

که این امر به آزادسازی انرژی هسته ای منجر می شود. که روش اول را همجوشی هسته ای و روش دوم را شکافت هسته

ای می نامند با تلاش برای درک منحنی انرژی بستگی هسته به فرمول نیمه تجربی جرم¹ می رسیم.

¹ شرح در پیوست ۱