بسم الله الرحمن الرحيم

فیزیک هسته ای و کاربردهای آن در ستاره شناسی

تالیف و گرآوری
مهدی دانشیار –مینا شیری

۴ فیزیک هسته ای و کاربردهای آن در ستاره شناسی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه..... ۱۱

فصل اول

۱ مروری بر سیر تحول فیزیک هسته ای ۱۳

۱-۱ کشف رادیواکتیو ۱۳

۱-۲ خانواده کوری به میدان می آیند ۱۷

۱-۳ شعه کشف شده توسط بکرل چیست؟ ۲۱

۱-۴ ذره α ۲۳

فصل دوم

۲ تبدیل های رادیواکتیوی ۲۵

۲-۱ قانون واپاشی رادیواکتیو ۲۶

۲-۲ نیمه عمر..... ۲۸

۲-۳ عمر متوسط ۲۹

۲-۴ سری های تباهی رادیواکتیوی (زنجیره ی فروپاشی) ۳۱

فصل سوم

۳ رادیو ایزوتوپ ها ۳۵

۳-۱-۱ شواهد مستقیم برای ایزوتوپ های سرب ۳۷

۳-۲ یونهای سبکتر بیشتر منحرف می‌شوند ۳۷

۳-۳ ذره α : ۳۹

۳-۴ اشعه **β** ۴۳
۳-۵ فرضیه پروتون ۴۴
۳-۶ کشف استحاله مصنوعی در هسته: ۴۵
۳-۷ کشف نوترون: ۴۷
۳-۷-۱ محاسبه جرم نوترون ۵۰
۳-۸ تئوری پروتون-نوترونی ترکیب هسته های اتمی ۵۲
۳-۹ تابش β: ۵۲
فصل چهارم
۴ نیروی هسته ای ضعیف ۵۵
۴-۱ نظریه فرمی در مورد واپاشی بتازا ۵۶
۴-۲ نقض پاریته ۵۶
۴-۲-۱ چپ گرایی و راست گرایی مطلق: ۵۹
فصل پنجم
۵ شتاب دهنده های ذرات ۶۱
۵-۱شتابدهنده الکترواستاتیک کوک کرافت-والتون ۶۲
۵-۲ واندوگراف ۶۳
۵-۳ سیکلوترون ۶۴
۵-۴ سینکروترون ۶۵
فصل ششم
۶ نگرشی بر ذرات بنیادی ۶۷
۶-۱ کشف نوترینوی موئون: ۶۷
۶-۲ شاهکار موری گلمان ۶۹

۶-۳ فرضیه کوارک ۷۰
۶-۴ کشف باررنگی ۷۲
۶-۵ انقلاب نوامبر و رد پای فریبا: ۷۳
۶-۶ گلئونها و نیروی قوی: ۷۴
۶-۷ کشف کوارک: ۷۶
۶-۸ مدل استاندارد: ۷۷
۶-۸-۱ خانواده لپتون ها ۷۸
۶-۸-۲ کوارک ها ۷۸
۶-۸-۳ گلوئون ها ۷۹
۶-۸-۴ ذرات واسط ۷۹
۶-۸-۵ بوزون هیگز ۷۹
۶-۹ عملیات پروتون های شگفت انگیز: ۸۰
۶-۱۰ نظریه ذرات بنیادی و کیهان شناسی ۸۴
فصل هفتم
۷ انـــرژی هســـته ای ۸۷
۷-۱ انرژی اتصال هسته ای ۸۸
۷-۲ کشف شکاف هسته ای: ۹۲
۷-۳ شکافت هسته ای و رآکتور هسته ای ۹۴
۷-۴ بمب هسته ای: ۹۶
۷-۴-۱ مزایای انرژی هسته ای ۹۷
۷-۴-۲ مضرات تکنولوژی هسته ای ۹۷

۷-۵ همجوشی هسته ای ۹۸

فصل هشتم

۸ تولید انرژی در ستارگان ۱۰۱

۸-۱ خورشید چگونه می درخشد: ۱۰۲

۸-۲ نمودار هرتسپرونگ–راسل ۱۰۳

۸-۳ تحول ستاره ای ۱۰۵

فصل نهم

۹ مروری بر فیزیک پرتوهای کیهانی ۱۰۹

۹-۱ چشمه های پرتوهای کیهانی و پرتوگاما ۱۱۳

فصل دهم

۱۰ پرتو های کیهانی پر انرژی و پروژه های دانشگاه های ایران ۱۱۵

۱۰-۱ پرتوهای کیهانی و روش‌های آشکارسازی آن‌ها ۱۱۷

۱۰-۱-۱ آرایه‌ای از آشکارسازهایِ ذرات ۱۲۰

۱۰-۱-۲ تلسکوپ‌های چرنکف ۱۲۰

۱۰-۱-۳ آشکارسازهای فلورسانس ۱۲۱

۱۰-۱-۴ آشکارسازی امواج رادیویی (آرایه‌های رادیویی) ۱۲۱

۱۰-۲ دستاوردهای گروهِ پرتوهای کیهانی ۱۲۲

پیوست ۱۲۵

منابع ۱۲۹

مقدمه

فیزیک هسته ای بخشی از علم فیزیک است که به مطالعه ویژگی های هسته و خواص آن می پردازد، در این نگرش ماده از اجزائی به نام اتم ساخته شده و حدودا تمامی جرم اتم در درون مرکزی با بار مثبت به نام هسته قرار دارد که قطری 10^{-12} خیلی کوچکتر از قطر اتم را اشغال کرده است و الکترون ها نیز هسته اتم را احاطه کرده اند. این شاخه از علم پایه علومی همچون فیزیک ذرات بنیادی و مهندسی هسته ای می باشد.

از طرفی دیگر توسعه و ظهور علم فیزیک هسته ای شاخه ی جدیدی در دهه ۷۰ به نام اخترفیزیک ذره ای شکل گرفت که نمونه ای از آن را می توان به مطالعه پرتوهای کیهانی اشاره نمود.

در این کتاب برآنیم که با مقدمه ای از فیزیک هسته ای بحث را آغاز کنیم و سرانجام کاربرد این علم با ستاره شناسی را به طور مفصل شرح دهیم.

امروزه که استفاده و کنترل تکنولوژی هسته ای غالبا در صدر اخبارجای می گیرد به طوری که همه روزه رسانه ای نیست که درباره آن صحبت نشده باشد و اهمیت آن را ذکر نکرده باشد استفاده از انرژی هسته ای چون شمشیر دوبلهای شامل مصارف صلح آمیز و موارد تهدید کننده نسل بشریت است که جامعه جهانی را بر آن داشته غیر جانبدارانه مسئولیت گسترش مرگ آور آن را جلوگیری و خلع صلاح هسته ای را در زمره ملزومات خود قرار دهد هر چند که پیامد های یاسی و اغراض استکباری مساله غیر جانبدارانه را تحت شعاع قرار داده است به هر حال در جهان امروز که کشور عزیزمان که ایران با استعانت از خدای متعال و کوشش غیور مردان عرصه دانش موفق به مهار این انرژی خدادادی شده و علم و دانش استخراج آن را درجهت مصارف صلح آمیز بدست آورند تا بتواند در تصمیم گیری های مربوط به زندگی و یا اجتماعی خود شرکت موثر داشته باشند. در همین جا این کتاب که بهانه

ای است برای مرور فیزیک هسته ای ایران تقدیم می شود به دانشمندانی دلاور چون احمدی روشن ،قشقائی، علی محمدی یزدانی، راهشان پر رهرو و روحشان شاد باد.

فصـــل اول

مروری بر سیر تحول فیزیک هسته ای

مقدمه

تاریخ آغاز فیزیک هسته ای را می توانیم از کشف رادیواکتیویته (پرتوزایی) از سوی بکرل در سال ۱۸۹۶، یا ظهور فرضیه رادرفورد مبنی بر وجود هسته در اتم ها در سال ۱۹۱۱ بدانیم. در هرحال، به روشنی معلوم است که مطالعات تجربی و نظری فیزیک هسته ای نقش برجسته ای در توسعه فیزیک قرن بیستم ایفا کرده است. بنابراین در این فصل برآنیم تاریخچه ای از سیر و تحول فیزیک هسته ای را مطالعه کنیم.

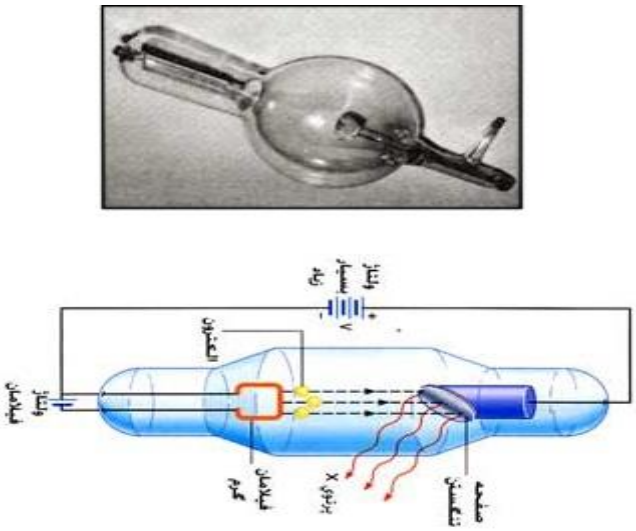
۱-۱ کشف رادیواکتیو

در سال ۱۸۹۶ میلادی (۱۲۷۵ هجری شمسی) کشفی تصادفی منجر به پیدا شدن دسته ای از مواد شد که به آن رادیواکتیو می گفتند.

فیزیکدانی به نام رونتگن[۱] با برخورد دادن الکترونهای پر سرعت به لوله ای شیشه ای خاص، متوجه به وجود آمدن لکه ای روشن روی شیشه شد.

---

[۱] Wilhelm Conrad Röntgen



شکل ۱-۱: لامپ اشعه کاتدی

چون او می دانست اشعه ای که قبلا کشف شد (اشعه کاتدی) از شیشه عبور نمی کند تا چنین اثری داشته باشد. گمان برد باید نوع دیگری از اشعه وجود داشته باشد. چون این اشعه نامرئی، از نور و اشعه های دیگر بسیار متفاوت بود به دلیل ناشناخته بودن ماهیت آن، اشعه را X نامید، این اشعه با عبور از بعضی مواد و عدم عبور از مواد نقش مهمی را در پزشکی بازی می کند، رونتگن متوجه شد که با قطع اشعه کاتدی، لکه نورانی و اشعهX هم قطع می شود، نشر نور از لوله شیشه ای به هنگام برانگیختگی با پرتو کاتدی نمونه ای از پدیده ای بود که فلوئورسانی نامیده می شد و پیش از کار رونتگن کاملا شناخته شده بود. کار به این صورت پیش رفت که مشاهدات رونتگن در مورد حصول پرتو ایکس از لکه های فلوئورسان این گمان را بوجود آورد که باید رابطه نزدیکی بین پرتو های ایکس و فلوئورسان وجود داشته باشد. در این زمان بخت با بکرل یار بود که مواد آزمایش این پدیده را درآزمایشگاه خود داشت.

شکل ۱-۲: تصویر اشعه X دست همسر روتنگن

دو هفته بعد از کشف اشعه X رونتگن اولین عکس اشعه Xرا از دست همسرش گرفت، در عکس گرفته شده، انگشتر همسر رونتگن به وضوح در تصویر نمایان است(شکل۱-۲).

در اواخر قرن ۱۹، "هانری بکرل[۲]" فیزیکدان فرانسوی، مشاهده کرد که ترکیبات اورانیوم از خود اشعه ای صادر می‌کنند که قادر است مانند اشعه خورشید، صفحات عکاسی را متاثر سازند و رد پای خود را بر روی فیلم عکاسی بگذارند، اما بر خلاف نور خورشید این اشعه حتی از کاغذ سیاه عبور کرده و بر صفحه اثر می‌گذارد. پس برآن شد که این آزمایش را انجام دهد یک فیلم عکاسی حساس را در پوششی از کاغذ لفاف کرد به طوری که اگر در طول روز در معرض نور آفتاب قرار گیرد هیچ فوتونی به آن تاثیر نگذارد، پس یک بلور نمک اورانیوم تهیه کرد شرح آن را از قول بکرل بیان می کنیم:

شکل ۱-۳:

«من یک صفحه عکاسی ...را با دو ورقه کاغذ سیاه ضخیم لفاف کردم سپس قطعه ای از ماده فسفرسان را روی کاغذ گذاشتم و همه آنها را به مدت چند ساعت در معرض نور آفتاب قرار دادم پس از ظهور فیلم عکاسی اثری از ماده فسفرسان روی صفحه عکاسی ظاهر شد پس معلوم شد که بله در اینجا با پرتویی سروکار داریم.

که لفاف تیره ای برای او شفاف است. با قرار دادن موانعی چون سکه یا صفحات فلزی تصاویر آنها هم روی صفحه نمایان می شد همین آزمایش را با گذاشتن یک ورقه شیشه ای نازک بین ماده فسفریک و کاغذ نیز می توان انجام داد. تا مطمئن شد که این پدیده در اثر، اثرات گرمائی

[2] Henri Becquerel

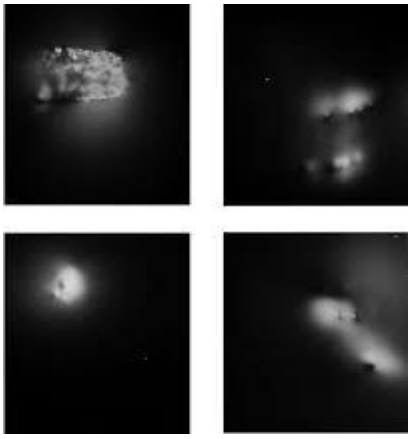
و شیمیائی روی صفحه بوجود نیامده است. نتیجه این بود که ماده فسفریک مورد نظر تابش گسیل می کند و این تابش از کاغذی که در مقابل نور کدر است نفوذ می کند.»

خوب در رساله ای که بکرل منتشر کرد این نتیجه مطرح شد که ماده فسفریک تحت تاثیر نور خورشید از خود اشعه ای گسیل می کند که قابل نفوذ است.

اما اشاره نکرد که این اشعه چیست؟

اصل ماجرا در جای دیگری نهفته است که بار آن را هم از قول خود بکرل بنویسیم بهتر است:

«...در میان آزمایش های پیشین بعضی از آنها برای روز چهارشنبه ۲۶ و پنج شنبه ۲۷ فوریه آماده شده بودند و چون در آن روزها خورشید گاه و بی گاه خود را نشان می داد من تمام مقدمات کار را آماده نگاه داشتم و محفظه آنها را در تاریکی در کشوی قفسه ای که در آنجا چند تکه نمک اورانیوم بود گذاشتم. چون چند روزی خورشید بیرون نیامد، صفحه عکاسی را در اول مارس ظاهر کردم. انتظار داشتم که تصاویر بسیار ضعیفی ببینم، اما بر عکس



شکل ۱-۴: تصویر فیلم عکاسی بکرل که توسط پرتودهی به اشعه‌ی یک نمک اورانیوم، ظاهر شده‌اند

طرح هایی با شدت بسیار ظاهر شده بود. ناگهان این فکر به خاطرم رسید که این اثر باید در تاریکی ادامه داشته باشد...»

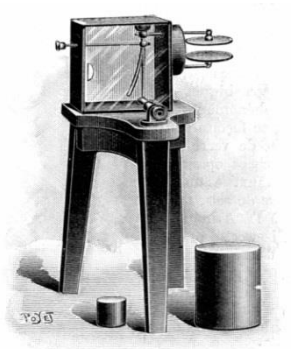
نکته در همین جاست این نمک اورانیوم فلئورسان حتی اگر در معرض پرتو خورشید هم قرار نگیرد از خود اشعه ساطع می کند و شاید اصلا پرتوزایی آن ربطی به خورشید هم نداشته باشد بکرل با ادامه آزمایش خود متوجه که عنصر اورانیوم اگر هم فلئورسان نباشد باز همان خود اشعه گسیل می دارد. و این گسیل پرتو ربطی به دمای محیط و ترکیبات شیمیایی آن ندارد بکرل همچنین نشان داد که تا تابش های اورانیوم هوای اطراف خود را یونیزه می کند، این تابش ها جسمی همچون ورقه یک الکتروسکوپ را که بار منفی یا مثبت گرفته باشد تخلیه می کند پس پرتو های اورانیوم از دو جهت به اشعه ایکس شبیه اند یکی آنکه قدرت نفوذ بالایی دارند و هوا را یونیزه می کنند و دوم اینکه نامرئی هستند ولی تفاوت اساسی با اشعه ایکس هم دارند و آن این است که اشعه ایکس احتیاج به تفنگ الکترونی و اشعه کاتدی برای تحریک شیشه دارد در صورتی که نمک اورانیوم بدون احتیاج به محرکی اشعه گسیل می کند در این باره دو پرسش به میان آمد نخست آنکه چه منبعی از انرژی پرتوهای اورانیوم رابه وجود می آورد و موجب می شود که این پرتو ها در اجسام کدر نفوذ کنند؟ و دوم اینکه آیا عناصر دیگری هم در جدول مندلیف چنین خاصیتی را دارند؟

۱-۲ خانواده کوری به میدان می آیند

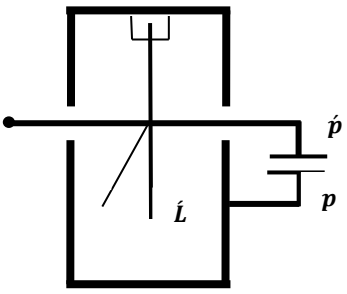
بکرل دوست صمیمی به نام پیر کوری[۳] داشت که به تازگی با دختر جوانی به نام ماریا اسکلودوسکا کوری[۴] ازدواج کرده بود این زوج جوان پس از کشف بکرل برآن شدند که تحقیق کنند آیا در جدول مندلیف عنصر دیگری مانند اورانیوم وجود دارد یا خیر؟ برای این کار پیر دستگاهی به صورت الکتروسکوپ ساخته بود که ماری با آن آزمایش می کرد مطابق شکل ۱-۵

[۳] Pierre Curie

[۴] Marie Skłodowska-Curie

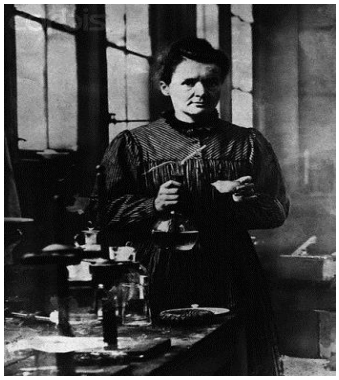


شکل ۱-۶:الکتروسکوپ



شکل ۱-۵

ماده فعال بریک صفحه که بالای صفحه ثابت مدورP است و با جعبه دستگاه و زمین ارتباط دارد گذاشته می شود. صفحه عایق بالاییṕ به سیم ورقه طلا $L\acute{L}$ متصل است S یک حایل عایق و L ورقه طلاست (شکل۱-۵). در ابتدا کار دستگاه به وسیله میلهC تا یک پتانسیل مناسب باردار می شود و آهنگ حرکت ورقه طلا به وسیله میکروسکوپ مشاهده می شود پرتوها موجب یونیده شدن مولکول های هوا می شوند. یون هایی که بار الکتریکی آنها مخالف با ورقه های الکتروسکوپ است به طرف ورقه ها کشیده می شوند و بار آنها را خنثی می کنند. مدت زمانی که طول می کشد تا ورقه ها ساقط شوند میزانی از سرعت یونش گاز است و بنابراین سرعت فعالیت عنصر را نشان می دهد.



شکل ۱-۷: مادام کوری

مادام کوری با این دستگاه تابشی را از عنصر توریم «TH» مشاهده کرد و دید که فاز توریم هم مانند اورانیوم پرتو گسیل می کند این کشف انحصار، پرتوزایی را از اورانیوم سلب کرد و انگیزه ای مضاعف برای کاوش های بیشتر شد.

پیر کوری هم بعد از کشف همسرش متوجه

اهمیت این موضوع شد و در کارهای بعدی به مدد ماری آمد در بررسی های آنها مشخص شد که اولا میزان تابش اورانیوم و توریوم رابطه مستقیم با وزن نمونه دارد علاوه براین، عناصر دیگری در ترکیبات آنها در واکنش نقشی ندارند و یا عامل جذب تشعشعات می شوند از جمله عناصری که در این مورد کاوش قرار گرفت عنصری به نام پِچ بِلِند[۵] بود که با مساله ای جالب خود را نشان می داد تابش این عنصر از تابش های اورانیوم که قبلا پژوهش شده بود بیشتر بود (U_3O_8) و وجود ترکیباتی چون بیسموت هم، که پرتوزا نبودند. پس آنها به این نتیجه رسیدند که در این ترکیبات عنصری کشف نشده وجود دارد که گسیلش پرتو آنها از اورانیوم بیشتر است، سر انجام پس از خالص سازی این عنصر فعال، گزارشی با این مضمون را منتشر کردند:

«... ما معتقدیم ماده ای را که پچ بلند جدا کرده ایم محتوی فلزی است که تاکنون شناخته نشده است. خواص شیمیایی آن شبیه بیسموت است اگر وجود این عنصر جدید تایید شد ما پیشنهاد می کنیم به نام موطن یکی از ما پولونیم نامیده شود.»

شش ماه پس از کشف پولونیوم باز هم خانواده کوری در بررسی پچ بلند متوجه امری خاص شدند در ترکیبات پچ بلند عنصر دیگری که به مراتب پر قدرت تر از پولونیوم بود یعنی حدودا ۹۰۰ برابر بیشتر از اورانیوم پرتو گسیل می کرد، را کشف کردند که به رادیوم معروف شد البته این تحقیقات می بایست با بیان عدد جرمی و خالص سازی به اثبات می رسید.

از آنجا که خانواده کوری موفق به تامین هزینه آزمایشی برای خالص سازی این عناصر را نشدند خود دست به اقدام زدند و با بقیه ۱۰۰کیلوگرم از پچ بلند اقدام به خالص سازی بدون وسایل وامکانات شدند که اکثر بار آن به دوش مادام کوری بود مادام در یادداشت های خود می نویسد «انباری سطل های بزرگ مملو از رسوب و مایع و حمل ظرفها، خالی کردن مایعات و بی وقفه چهار ساعت هم زدن مواد در حال جوش در لگن تصفیه کاری واقعا کشنده بود» به هر حال چهار سال کار هر روز مادام بود. بانویی که می توانست با آن درجه علمی و اکتشافات در مرفه ترین حالت ممکن زندگی کند و بر دیگران فخر فروشی کند در آزمایشگاهی متروک و تنها در پی جستجوی حقیقت روزگار می گذراند و بار بزرگی از

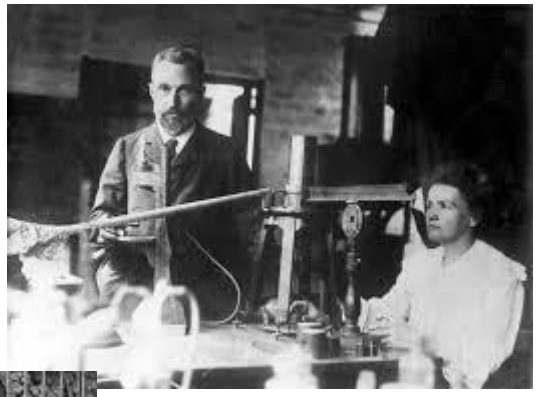
---

[۵] pechblende

مسئولیت را بردوش احساس می کرد و سرانجام ماری توانست در سال ۱۹۰۲میلادی gr ۰/۱ رادیوم کلرید را جدا کند.

طبق گزارش اولین نمونه رادیوم کلرید به قدری خالص بود که آزمایش طیف نمایی هیچ اثری از عناصر همگون همانند باریم را نشان نمی داد. او جرم رادیوم را ۲۲۵ حساب کرده بود فعالیت رادیوم بیش از یک میلیون برابر فعالیت همان جرم اورانیوم است.

.



شکل ۱-۸: ماری کوری و پیر کوری

از چپ به راست شکل ۱-۹: Charles-Edouard Guillaume–Dr Tripier– Maurice Guillaume– Mme Guillaume– Dr Curie–Mlle Hélène Dubois–Pierre Curie– Marie Curie

۱-۳ اشعه کشف شده توسط بکرل چیست؟

بعد از کشف عناصر رادیواکتیو توسط خانواده کوری مردم چشم شان به این حوزه دوخته شد و پژوهش هایی را درپی بردن به این راز سر به مهر شروع کردند از جمله افراد رادرفورد بود که تئوری خاصی هم درباره سیستم اتمی داشت رادرفورد دریافت که یک نمونه از اورانیوم دست کم دو نوع پر توزایی دارد یکی از پرتو ها به آسانی جذب می شود α نامید و دیگری که قدرت نفوذ بیشتری دارد که β نامیده می شود. دانشمند دیگری به نام ویلارد[۶] هم پی به وجود اشعه ای نافذتر برد که آن را γ نامید پس جدولی را با همکاری رادرفورد به گونه ای زیر تنظیم کردند(جدول۱-۱)

جدول ۱-۱:

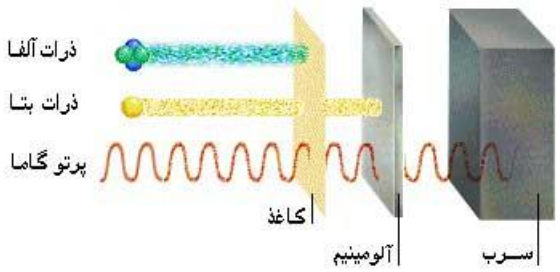
نوع تابش	**ضخامت**
α	۰/۰۰۰۵cm
β	۰/۵cm
γ	۸cm

با ارائه این جدول مشخص بود که اشعه هایی چون α بایک پوسته نازکی جذب می شود و برای جذب β بیشتری لازم است و برای اشعه γ شاید از سرب چند متری استفاده شود نیز کافی نباشد(شکل۱-۱۰)

در طی تحقیقات مشخص کردند که اشعه آلفا خاصیت یونیزاسیون بالایی دارد و اشعه بتا از آن کمتر و اشعه گاما خاصیت یونیزاسیون ندارد به همین خاطر اشعه آلفا اکثر انرژی خود را صرف یونیزاسیون کرده و کمتر نفوذ می کند، و اشعه بتا به مراتب کمتر از آلفا یونیزاسیون بوجود می آورد.

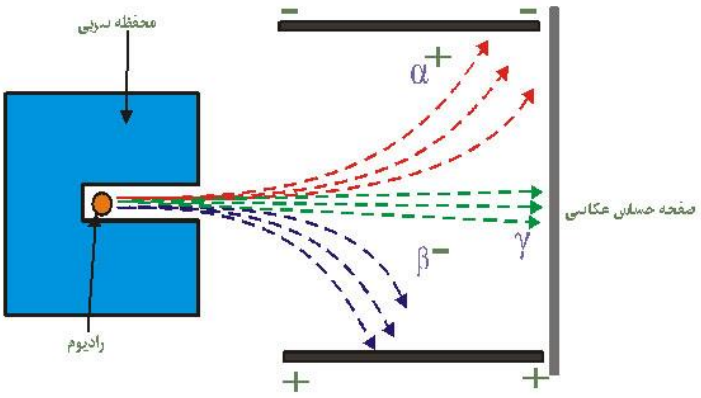
---

[۶] Paul Villard



شکل ۱-۱۰: میزان نفوذ پذیری پرتوها

در طی پژوهش ها در شناسایی پرتوها، بکرل علاوه بر تشخیص و تمایز اشعه های مختلف و قدرت نفوذ آنها، روی بار آنها هم با تاثیر میدان الکتریکی ومغناطیسی و ردیابی میزان انحراف آنها آزمایش هایی انجام داد. در این آزمایش با قرار دادن چشمه های رادیواکتیویته در کاواکی سربی و تحت تاثیر قرار دادن آن در میدان مغناطیسی توانستند این اشعه و بار آنها را ردیابی کنند این کار توسط کوری ها صورت پذیرفت.



شکل ۱-۱۱:تعیین بار پرتوها

در این روش با گسیل پرتوی بکرل و تاثیر قرار دادن آنها تحت میدان الکترومغنایسی به این نتیجه دست یافتند: که اولا ذره α دارای بار + و ذره β دارای بار − است و اشعه γ

بدون بار است وثانیاً هر قدر میدان مغناطیسی قوی تر باشد میزان انحرافات بیشتر است(شکل ۱-۱۱).

سوالی که مطرح می شود جنس این ذرات چیست؟

انحراف یک ذره باردار از میدان الکتریکی ومغناطیسی هم به بار ذره و هم به جرم ذره بستگی دارد بنابراین نسبت بار به جرم ذرات β را می توان از روی اندازه گیری انحراف آنها در میدانی که شدت معلومی دارد اندازه گیری کرد. بکرل در سال ۱۹۰۰ برای بررسی اشعه β همان روشی را که برای اشعه کاتدی استفاده کرد، به جریان انداخت و جالب آنکه همان نتایج را به دست آورد پس نتیجه گرفت β احتمالا همان الکترون است.

اما اشعه α، اشعه α در بدست آوردن مقدار $\frac{q}{m}$ ۴۰۰۰ مرتبه کوچکتر از β بود، در آزمایش بار α، با بار β فرقی نداشت پس حتما جرم آن بسیار زیاد است.

مقدار $\frac{q}{m}$ برای ذره α درست نصف $\frac{q}{m}$ برای یون هیدروژن است بنابراین اگر ذره α چیزی شبیه به یک مولکول هیدروژن منهای یک الکترون H_2^+ یا اگر شبیه یک اتم هلیوم بدون دو الکترون بود، مقدار بدست آمده به طریقی قابل توجیه بود. البته امکان دیگری هم وجود داشت مثلا هسته خالص کربن، نیتروژن با اکسیژن هم همان نسبت $\frac{q}{m}$ را دارند.

۱-۴ ذره α

از مدتی قبل معلوم شده بود که در کانی های رادیواکتیو همواره مقداری گاز هلیوم محبوس است و دانشمندانی چون سُدی[۷] و رامسی[۸] مشخص کرده بودند که از یک ماده مرکب رادیواکتیو از جمله رادیوم برومید هلیوم به دست می آید، و باعث شد این فکر به ذهن رادرفورد خطور کند به احتمال زیاد اشعه α همان هسته هلیوم است. برای پی بردن به این موضوع عنصر رادیوم را انتخاب کرد، رادیوم گازی به نام رادن که به شدت اشعه α از خود متصاعد می کند، سپس آن گاز را در محفظه ای قرار داد که تنها ذرات α قادر به عبور بودند. این سیستم را دو روز در آزمایشگاه قرار داد وی متوجه شد در محفظه ای که فقط ذرات α

---

[۷] Frederick Soddy

[۸] William Ramsey

قادر به حرکت در آن هستند مقداری گاز جمع شده است، با فشرده کردن گاز بوسیله جیوه و تحت تاثیر قرار دادن قوس الکتریکی، طیف هلیوم از آن حاصل شد پس متوجه شد جنس ذرات آلفا چیزی جز هسته هلیوم نیست.

فصـــل دوم

تبدیل های رادیواکتیوی

با پیشرفت های چشمگیری که در آن دوران در حوزه علم شیمی، تعیین، خالص سازی عناصر و لزوم پایداری آنها پیش آمده بود این فکر به وجود می آورد که گسیل اشعه α و β از عناصر این از چه قسمتی از اتم ساطع می شوند.

آیا در اثر گسیل این اشعه ها که برابر هسته یک هلیوم است تغییری در ماهیت شیمیایی ذرات حاصل نمی شود اگر می شود چگونه؟ تا اینکه این مساله با پیشنهاد خاص سدی و رادرفورد مواجه شد این دو پژوهشگر ادعا کردند که در اثر گسیل اشعه β چه عناصری به عناصر دیگر استحاله می شوند و همین طور استحاله مواد ادامه دارد تا به عنصر پایداری که معمولا از سرب است تبدیل شود. پس عناصر، در جریان فرآیند رادیواکتیو از یک عنصر مادر به یک عنصر پایدار استحاله می شوند. به طور مثال تبدیل اتم های رادیوم به رادن به صورت زیر نمایش داده می شود.

$$Ra \rightarrow Rn + He$$

در این زنجیره ها ی واپاشی، هسته اصلی یا همان هسته مادر به هسته های بعدی یا هسته های دختر تبدیل می شود.

قابل ذکر است که احتمال واپاشی اولا مستقل از عوامل خارجی بوده و ثانیاً به صورت آماری و سیستمی بررسی می شود. لازم به ذکر است که نمی توان به طور قطع احتمال واپاشی مثلا یک هسته رادیوم را تخمین زد بلکه می توان در مجموع کل هسته ها این کار را انجام داد. اگر کل عنصر رادیواکتیو را N در نظر بگیریم رابطه۲-۱برقرار است.

$$N \propto \frac{dN}{dt} \qquad ۱-۲$$

رابطه۲-۱ بیان می کند که میزان فعالیت یک عنصر، بستگی به تعداد عنصر رادیواکتیو دارد.

۲-۱ قانون واپاشی رادیواکتیو

هسته های رادیواکتیو وا می پاشند و به هسته ی دیگری تبدیل می شوند بنابراین در یک نمونه از ماده رادیواکتیو، تعداد هسته های عنصر اولیه (مادر هسته) با گذشت زمان کاهش می یابد و تعداد هسته های عنصر ثانویه (دختر هسته) با زمان افزایش می یابد و آهنگ واپاشی که آن را $\left|\frac{dN}{dt}\right|$ نمایش می دهیم متناسب است با تعداد هسته های موجود در نمونه در لحظه ی t،

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad ۲-۲$$

علامت (-) نشان دهنده ی آنست که $\frac{dN}{dt} < 0$ یعنی با گذشت زمان تعداد هسته های نمونه، کاهش می یابند. در این رابطه λ ضریب تناسبی است که ثابت واپاشی نامیده می شود. برای هر رادیوایزوتوپی مقداری است ثابت ومعین. با تغییر شرایط فیزیکی یا شیمیائی نمونه، مقدار λ تغییری نمی کند. λ بعد زمان دارد واحد آن $\frac{1}{s}$ است که می تواند $\frac{1}{h}$ یا $\frac{1}{Y}$ یعنی بر حسب $\frac{1}{\text{ساعت}}$ یا $\frac{1}{\text{سال}}$ نیز بیان می شود.

λ در واقع احتمال واپاشی یک هسته معین در واحد زمان است.اگر از طرفین رابطه ی بالا انتگرال بگیریم و فرض کنیم که تعداد هسته های نمونه در لحظه ی t=0 برابر N_0 بوده خواهیم داشت

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t=0}^{t} dt \rightarrow \ln N|_{N_0}^{N} = -\lambda dt \qquad Ln\frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \rightarrow LnN = -\lambda dt$$
$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda dt} \rightarrow N = N_0 e^{-\lambda dt}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad ۲-۳$$

رابطه ۲-۳ را قانون واپاشی رادیواکتیو می گویند

توجه کنید که N عبارتست از تعداد هسته های رادیواکتیو نمونه که در لحظه ی t هنوز واپاشیده نشده اند. بدیهی است که اگر بخواهیم تعداد هسته های واپاشیده شده در لحظـه ی t را پیدا کنیم می نویسیم:

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

در فرمول ۲-۳ همان طور که مشاهده می شود در لحظه زمانی $N = N_0, t =$ 0می باشد و در لحظه $N = 0, t = \infty$ است این بدان معنی است که زمان برای رسیدن به حالت تعادل در ماده رادیواکتیو معنا ندارد به طور کلی در هر سیستم اغتشاشی، رسیدن به حالت زمان وجود ندارد برای پی بردن فهم این موضوع به مثال زیر دقت کنید:

مثال۲-۱

قایقی برروی یک سطح آب قرار دارد، قایق را روشن می کنیم قایق با سر عت ثابت$50\,^{m}/_{s}$ به حرکت در می آید، اگر 100s بعد قایق را خاموش کنیم و قایق شتاب کند شونده

$a = -kv$ پیدا کند مطلوب است

الف) سرعت این قایق در زمان خاموش شده؟

ب) مسافتی را که بعد از خاموش شدن طی می کند؟

ج) زمان رسیدن به حالت سکون چقدر است؟

$$a = -kv \rightarrow \int_0^v \frac{dv}{v} = -k\int_0^t dt \rightarrow v = v_0 e^{-kt}$$

بادر نظر گرفتن رابطه فوق وقتی $t = \infty$ می شود v به سوی صفر گرایش پیدا می کند

$$\frac{dx}{dt} = v_0 e^{-kt} \rightarrow x = \frac{V_0}{k}(1 - e^{-kt})$$

در زمان $v, t = \infty$صفر می شود یعنی قایق به جایی می رسد که ما نمی دانیم چقدر حرکت کرده از نظر مسافت می توانیم بگوییم وجود دارد(به عبارت دیگر، مطابق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، عدم قطعیت زمانی از بین می رود که x تعیین می شود).

پس طبق موارد فوق سیستم اغتشاشی هیچگاه به زمان نمی رسد و هیچ عنصر رادیواکتیوی به حالت پایه صددرصد نمی رسد و همواره تشعشع ها وجود دارد و همین تشعشهای موجود در طبیعت موجب می شود که از تکثیر بیشتر از اندازه باکتریها و میکروبها جلوگیری می شود وشرایط برای حیات فراهم گردد.

پس در مجموع اغتشاشی هست که نمی دانیم چه زمانی تمام می شود.

۲-۲ نیمه عمر

نیمه عمر($t_{1/2}$) مدت زمانی است که طول می کشد تا نیمی از هسته های یک نمونه فرو بپاشند به عبارت دیگر زمانی که فعالیت های یک عنصر رادیواکتیو به نصف کاهش پیدا کند. نیمه عمر با λ رابطه دارد و مانند آن برای یک رادیوایزوتوپ کمیتی است ثابت و معین. واحد $t_{1/2}$ ثانیه است و ممکن است بر حسب ساعت یا روز و یا سال هم بیان شود. برخی از هسته ها نیمه عمری بسیار طولانی دارند مثلاً $^{232}_{90}Th$ نیمه عمری برابر با 1.41×10^{10} سال دارد یا ^{235}U نیمه عمری برابر با 7.0×10^{8} سال دارد. و برخی از رادیوایزوتوپ ها نیمه عمری بسیار کوتاه و در حد میکرثانیه (sμ) یا نانو ثانیه (ns) دارند.

برای تعیین رابطه ی $t_{1/2}$ و λ از تعریف نیمه عمر استفاده می کنیم:

$$\begin{cases} t = t_{1/2} \\ N = \dfrac{1}{2}N_0 \end{cases}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \rightarrow -Ln2 = -\lambda t_{1/2} \rightarrow t_{1/2} = \frac{Ln2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\Rightarrow t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda} \qquad ۴-۲$$

۲-۳ عمر متوسط

عمر متوسط (τ) یک رادیوایزوتوپ مدت زمانی است که بطور میانگین یک هسته قبل از واپاشی باقی می ماند، عمر می کند. گفتیم که در یک نمونه، N(t) تعداد هسته هائی کـه در لحظه ی t باقی مانده اند (فرو نپاشیده اند).

در فاصله ی زمانی t و (t+dt) تعداد هسته هائی که فـرو مـی پاشـند برابـر اسـت بـا $|dN|$. بنابراین تعداد هسته هائی که که به اندازه ی t عمر می کنند برابر $|dN|$ اسـت پـس عمر متوسط به صورت زیر تعریف می شود:

$$\tau = \frac{\int t dN}{N_0} \qquad ۵-۲$$

τ مدت زمانی است هر ذره در حالت تحریکی قرار داشته است

$$\tau = \frac{\int t\lambda N_0 e^{-\lambda t}}{N_0} dt \quad \rightarrow \quad \lambda \int t e^{-\lambda t}\, dt = \frac{1}{\lambda}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \qquad ۶-۲$$

پس عمر متوسط برابر است با عکس ثابت فروپاشی و بین عمر متوسـط و نیمـه عمـر رابطه ی زیر برقرار است:

$$t_{½} = 0.693\tau \Rightarrow \tau = 1.44 t_{½}$$

عمر متوسط بستگی به عملی دارد که در سیستم در حال رویداد است پس می توان نوشت:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{N\lambda}{N_0\lambda} = e^{-\lambda t}$$

در تعاریف خود کمیتی را به نام فعالیت معرفی می کنیم که با ضریب λ در مقدار ماده تحریک بدست می آید.

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

و آن را یا A_0 نشان می دهیم

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \qquad ۷-۲$$

در فعالیت علامت منفی معنا ندارد.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \rightarrow$$

.

حالا به جای t عمر متوسط را قرار می دهیم پس $A = A_0 e^{-1}$ که بدست می آید:

$$A_0 = 0/386 A_0 \qquad ۸-۲$$

از نظر فرم فعالیت یک رادیواکتیو زمانی که فعالیت یک ماده به اندازه $0/386A_0$ برسد عمر متوسط آن است.

عمر متوسط بدان معنا نیست که چه زمانی ماده از بین رفته، بلکه یک نگرش کلی به فعالیت آن ماده دارد. در چنین زمانی مقدار فعالیت ماده $0/386A_0$ رسیده است. پس معنای عمر متوسط با آنچه که در اجتماع رایج است متفاوت است و همچنین با نیمه عمر فرق می کند.

واحد بین المللی فعالیت رادیواکتیو بکرل (Bq) نام دارد و آن فعالیت نمونه ای است که در هر ثانیه یک فرپاشی در آن انجام می گیرد

$$1\ \text{Bq} = 1\frac{\text{فرپاشی}}{\text{ثانیه}} = 1\text{dps} \qquad \text{(dps= distegration per second)}$$

بکرل واحد کوچکی است. واحد رایج فعالیت کوری (Ci) نام دارد. یک کوری فعالیت نمونه ای است که در هر ثانیه 3.7×10^{10} فروپاشی در ثانیه انجام می گیرد.

$$1Ci = 3.7\times10^{10}\, dps = 3.7\times10^{10}\, Bq$$

کوری واحد بزرگی است نمونه های آزمایشگاهی معمولاً فعالیت شان در حد میکرو کوری و میلی کوری می باشند.

یک کوری در واقع فعالیت یک گرم از ماده رادیوم -226 می باشد. نام گذاری کوری بخاطر و به احترام خانواده ماری کوری و دخترش ایرن کوری انجام گرفته است

مثال۳-۲: نیمه عمر رادیوم -226 (^{226}Ra) برابر 1620 سال است. در یک نمونـه یک گرمی از رادیوم- 226، در هر ثانیه چند واپاشی رادیواکتیو انجام می گیرد؟ فعالیـت ایـن نمونه را بر حسب کوری بیان کنید.

جرم اتمی رادیوم- 226 = 226.026084u $\approx 226\ ^{g}/_{mol}$

حل: چون یـک گـرم $^{226}_{88}Ra$ برابـر $\frac{1}{226}$ مـول اسـت و هـر مـول هـر مـاده ای، از $N_A=6.02\times 10^{23}$ اتم تشکیل یافته بنـابراین یـک گـرم رادیـوم -226 دارای $N=\frac{1}{226}$ $N_A\times$ اتم یا هسته می باشد.

$$N=\frac{1}{226}\times 6.02\times 10^{23}=2.66\times 10^{21}$$ هسته

$$1y=365d=365\times 86400s=3.16\times 10^{7}s$$

d=day=روز،

$$\lambda=\frac{0.693}{t_{1/2}}=\frac{0.693}{1620\times 3.16\times 10^{7}}=1.35\times 10^{-11}s^{-1}$$

$$A=\lambda N=1.35\times 10^{-11}\times 2.66\times 10^{21}\approx 3.6\times 10^{10}dps\approx 1Ci$$

۲-۴ سری های تباهی رادیواکتیوی (زنجیره ی فروپاشی)

تباهی رادیوم و نوزادان آن سرانجام به محصولی پایدار می انجامد از رفتار شیمیایی آن معلوم شد سرب است. این سلسله که با رادیوم آغاز میشود ۱۰ عضو دارد که بعضی از آنها ذرات α و بعضی دیگر ذرات β گسیل می دارند. در جریان این سری از تبدیلات گاهی پرتو گاما گسیل می شود. لیکن پرتو های γ به تنهایی ظاهر نمی شود آنها فقط همراه با یک ذره α یا یک ذره β گسیل می شود. از آنجا که رادیوم همواره در کانی های اورانیوم یافت می شود رادرفورد و سدی این نقل را اظهار داشتند که ممکن است خود رادیوم عضو یک سری رادیواکتیو باشد که با اورانیوم آغاز می شود.هسته اولیه M، را مادر و تباهی مادر به فرزند را دختر می گوییم

مادر $M^{*}\rightarrow D^{*}+\gamma$

$$D^* = d^* + \gamma \quad \text{دختر}$$

چون طبیعت متقارن است، مکانیزم یکسان می باشد اگر چه فرم فرق می کند.

فعالیت یک ماده رادیواکتیو منجر به تولید ماده رادیواکتیو دیگری می شود که به قیمت فعالیت خود مادر یا از بین رفتن یکی از فعالیت های مادر، و باعث به وجود آمدن دختر می شود.

در حال حاضر می خواهیم یکی از این دختر ها را بررسی کنیم چه کنیم؟

هسته ی مادر، با آهنگ $\lambda_1 N_1$ فرو می پاشند

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

هسته ی دختر ، با آهنگ $\lambda_1 N_1$ تولید و

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

و هسته دختر بعدی، با آهنگ $\lambda_2 N_2$ افزایش می یابند و با آهنگ $\lambda_3 N_3$ کاهش می یابند

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3$$
$$\vdots$$
$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1$$

با توجه به رابطه۲-۳

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{N\lambda}{N_0\lambda} = e^{-\lambda t}$$

داریم:

$$e^{\lambda t}\frac{dN_2}{dt} + e^{\lambda t} N_1\lambda_1 = e^{\lambda t} N_1\lambda_1$$
$$\frac{d}{dt}\left(N_2 e^{\lambda_2 t}\right) = N_1\lambda_1 e^{\lambda_2 t}$$
$$\begin{cases} N_{02} e^{\lambda_2 t} = \dfrac{N_1\lambda_1}{\lambda_2} e^{\lambda_2 t} + C \\ t_0 = 0 \end{cases}$$
$$N_{02} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01} e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_{02} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01} + C \rightarrow C = N_{02} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01}$$

$$N_2 = \frac{N_1 \lambda_1}{\lambda_2} + (N_{02} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01}) e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01} e^{-\lambda_2 t} + (N_{02} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01}) e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{02} e^{-\lambda_2 t}$$

N_{01} مادری که در مرحله نخست همه چیز تحت کنترل آن است

$\lambda_1 t$ فعالیت مادر

$e^{-\lambda_2 t}$فعالیت دختر

$N_{02} e^{-\lambda_2 t}$فعالیت دختر

حال زنجیره دوم را نگاه می کنیم نوه ای در حال تولید شدن می باشد که به قیمت از بین رفتن دختر است اگر

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3$$

برای مادربزرگ نوه معنا ندارد اما می تواند درباره فعالیت آن صحبت کند جمله سوم را نمی بیند می گوییم به پایداری رسیده است.

$$\frac{dN_3}{dt} + \lambda_3 N_3 = \lambda_2 N_2$$

$$N_1 = N_1^0 e^{\lambda_1 t}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1$$

$$\frac{d}{dt}\left(N_2 e^{\lambda_2 t}\right) = \lambda_1 N_1^0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1) t}$$

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{\lambda_1 N_1^0}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{(\lambda_2 - \lambda_1) t} + C$$

$$N_n = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + C_3 e^{-\lambda_3 t} + \cdots$$

مقادیر $C_3 ، C_2 ، C_1$ نیز می توانیم بدست آوریم

$$C_1 = \frac{-\lambda_1\lambda_2\lambda_3 \dots \lambda_n}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} N_0^1$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} N_0^1$$

$$C_1 = \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_0^1$$

فصـــل سوم

رادیو ایزوتوپ ها

کشف سه سری رادیواکتیو که هریک شامل موارد ظاهرا جدیدی بود مسئله ای جدی به وجود آورد در سال ۱۹۱۰، (۱۲۸۹) هنوز جای خالی عناصر در جدول تناوبی وجود داشت اما جای کافی برای بسیاری مواد جدید موجود نبود. جدول تناوبی ترتیبی از عناصر که خواص شیمیایی آنها ارائه می کند و اگر نتواند عناصر رادیواکتیو را در برگیرد می باید در آن تجدید نظری بنیادی و عمیق صورت گیرد.

کلید حل معما در این نکته است که بعضی از مواد تازه یافت شده عضو سری های رادیواکتیو از لحاظ خواص شیمیایی با عناصر شناخته شده قبلی یکسانند در حالی که از لحاظ خواص فیزیکی با آنها متفاوتند مثلا اورانیوم$\prod$ نوه بزرگ اورانیوم I همان خواص شیمیایی اورانیوم I را دارد وقتی آنها با هم مخلوط شدند به روش شیمیایی نمی توان آنها را از هم جدا کرد لیکن این دو ماده که هم اکنون به عنوان اورانیوم ۲۳۸ و اورانیوم ۲۳۴ شناخته شده اند از لحاظ برخی خواص فیزیکی با هم متفاوت هستند مثلا دارای نیمه عمرهای متفاوتند، نیمه عمر اولی $4/5 \times 10^9$ سال و نیمه عمر دومی $2/5 \times 10^5$ سال است جرم یک اتم اورانیوم-۲۳۴باید از یک اتم اورانیوم -۲۳۸ به قدر جرم یک ذرهα ودو ذرهβ کوچکتر باشد.

زوج دیگری از مواد رادیواکتیو رادیومβ رادیوم G است که معلوم شده خواصی همچون سرب دارند اینها نیز وقتی با سرب مخلوط شوند جداسازی آنها به روش شیمیایی

ممکن نیست این دو ماده امروزه به نام سرب -۲۱۴و سرب -۲۰۶ معروفند سرب ۲۱۴ رادیواکتیو و سرب ۲۰۶ پایدار است.

سُدی راه حلی پیشنهاد کرد که در راستای آن ماهیت ماده و ارتباط میان عناصر در جدول تناوبی مشخص می شود پیشنهاد او این بود که یک عنصر شیمیایی را فقط وقتی می توان به صورت یک ماده خالص دانست که خواص شیمیایی یکسانی داشته باشند یک عنصر شیمیایی در واقع ممکن است مخلوطی از اتم ها با رفتار رادیواکتیوی متفاوت و جرم های اتمی متفاوت باشند ولی همه آنها خواص شیمیایی یکسانی دارند پس تئوری دالتون که معتقد بود، عناصر خالص از تمام جهت به هم شبیه اند را تغییر داد. سُدی عناصری که عدد اتمی Z یکسانی دارند و عدد جرمی متفاوتی دارند را ایزوتوپ نامید پس U_{238} U_{234} ایزوتوپ های اورانیوم Pb_{214}و Pb_{216} ایزوتوپ های سرب هستند.

قواعد تبدیل عناصر:

در جریان مطالعه مواد رادیو اکتیو دو مسئله مطرح شد:

۱- وقتی عنصری دچار تباهی می شود چگونه ماهیت شیمیایی آن تغییر می کند؟

۲- چه چیزی در رادیواکتیو ها حکم می کند که عدد اتمی Z افزایش یا کاهش پذیرد؟

پاسخ این پرسش در سال ۱۹۱۳ «۱۲۹۲ هجری شمسی» به وسیله سُدی و فاجانس[۹] داده شد به خاطر داشته باشید در همان سالها مدل هسته ای رادرفورد در پاره اتم مورد قبول عام بود. با استفاده از این مدل می توان گفت که یک اتم رادیواکتیو باید هسته ای ناپایدار داشته باشد تا یک ذره α یا β گسیل نماید.

هر هسته یک بار مثبت Zq_e دارد که در آنZ عد اتمی و q_e بزرگی بار یک الکترون است هسته با Z الکترون احاطه شده است وجود این الکترون ها اتم را از لحاظ الکتریکی خنثی و رفتارهای شیمیایی آنرا معین می کند. واز طرفی یک ذره α جرمی اتمی حدود چهار واحد و باری مثبت شامل ۲ واحد $+2q_e$ دارد اما ذرهβ دارای یک واحد بار منفی $-q_e$ می باشد وجرم آن در مقایسه با ذره α بسیار کوچک است.

پس قاعده تبدیل سدی به قرار زیر خواهد بود.

---

[۹] Fajans

$$-q_e\beta + 2q_e q_e Z q_e$$

بنابراین به طور خلاصه می توانیم بگوییم

۱- هر ماده ای که از خود پرتوی آلفا گسیل کند، ۲ واحد از عدد اتمی آن و ۴ واحد از عدد جرمی آن کم می شود، در واقع دو پروتون و دو نوترون از بین می روند.

$$_{84}\mathrm{po}^{218} \rightarrow {}_{82}\mathrm{pb}^{214}+\alpha$$

۲- هر ماده ای که از خود پرتوی بتا صادر کند، یک واحد به عدد اتمی آن افزوده می شود یعنی یک نوترون جای خود را به یک پروتون می دهد و عدد جرمی یکسان اما عدد اتمی یک واحد افزایش می یابد

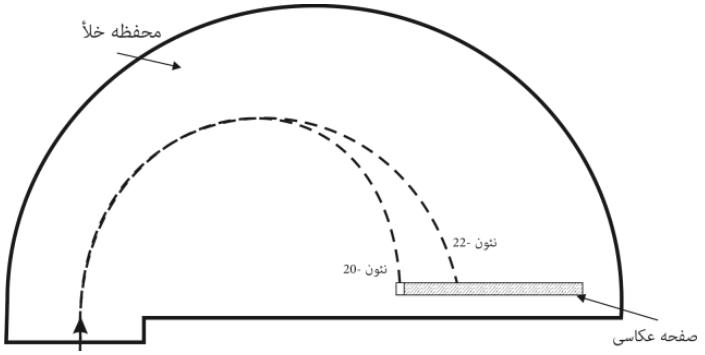
$$_{90}\mathrm{Th}^{234} \rightarrow {}_{91}\mathrm{Th}^{234}+\beta$$

۳-۱-۱ شواهد مستقیم برای ایزوتوپ های سرب

سُدی می دانست، محصول نهائی پایدار سری اوانیوم-رادیوم خواص شیمیائی سرب را دارد و نیز می دانست که محصول نهائی سری توریم نیز خواص شیمائی سرب را داد. لیکن برای او محقق بود که این محصول ها باید جرم اتمی متفاوت با جرم اتمی سرب معمولی داشته باشد. این پیشگویی که بنا بر قواعد تبدیل سدی به عمل آمده بود و می بایست مورد تحقیق قرار می گرفت. برای سرب ایزوتوپ هایی چون $pb_{82}^{208}, pb_{82}^{207}, pb_{82}^{206}, pb_{82}^{204}$ بدست آمد. نتایج حاصل تردیدی به جای نمی گذاشت که اورانیوم به ایزوتوپ های سبک سرب و توریم به ایزوتوپ های سنگین مبدل شوند.

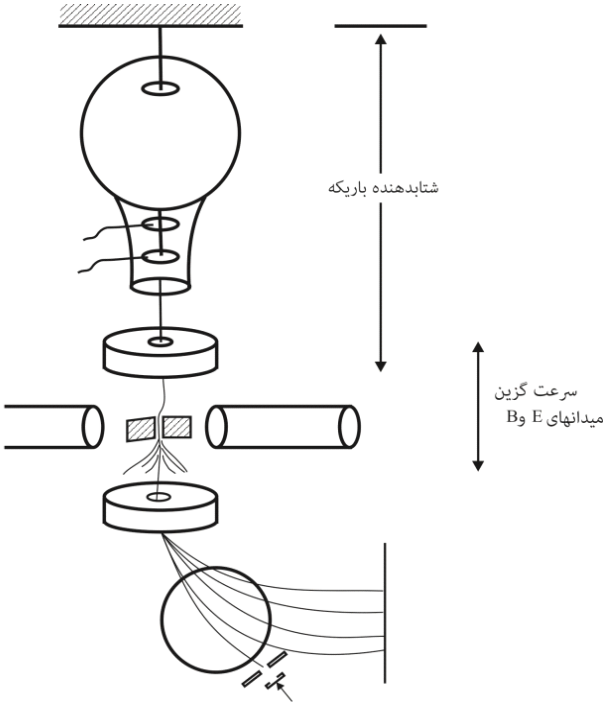
۳-۲ یونهای سبکتر بیشتر منحرف می‌شوند

به عنوان مثال یون های نئونی که به وسیله جریانی از الکترون ها ایجاد شده اند وارد محفظه می‌شوند و تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند.



شکل ۳-۱

در بعضی از این دستگاه ها یون ها وارد ناحیه ای می‌شوند که در آنجا میدان‌های متقاطع مغناطیسی B و الکتریکی E وجود دارد این میدان ها به وسیله ایجاد جریان در پیچک ها و صفحات باردار تولید می‌شوند در آنجا هر یون متحمل یک نیروی مغناطیسی با بزرگی qvB و یک نیروی الکتریکی یا بزرگی qE می‌شوند نیرو های الکتریکی و مغناطیسی در جهات مختلف بر یک یون اثر می‌کنند. این نیروها فقط به آنها امکان خواهند داد که یک راست از میدان های متقاطع و همچنین از سوراخ دیافراگم زیرین بگذرند برای هریک از این یون ها $qVB = qE$ بنابراین $V = \frac{E}{B}$ است. زیرا فقط یون هایی که تندی را دارند در امتداد اصلی باریکه باقی می‌مانند این بخش نخستین قسمت، دستگاه سرعت گزین نام دارد.



شکل ۳-۲

جدا شدن ایزوتوپ های باریکه در میدان مغناطیسی دیگری با شدت $\acute{B}$ صورت می‌گیرد وقتی باریکه وارد این میدان می‌شود، میدان مغناطیسی یک نیروی مرکزگرا ایجاد

می‌کند که بر هر یون اثر کرده و آن را در یک قوس دایره ای با شعاع R منحرف می‌کند. شعاع این قوس به نسبت بار به جرم یون ها بستگی دارد.

یعنی: $$V\acute{B} = \frac{mv^2}{R}$$

و بنابراین $$\frac{q}{m} = \frac{V}{\acute{B}R}$$

باریکه های یون ها تقسیم شده یا روی یک صفحه عکاسی می‌افتد یا با یک آشکارساز حساس جریان یون برخورد می‌کند و شعاع های R مربوط به انحرافات یون ها از روی خصوصیات هندسی دستگاه حساب می‌شود چون R $\acute{B}$،V را می‌توان از طریق اندازه گیری معین کرد، نسبت جرم به بار هر باریکه از یون‌ها را می‌توان به طور مستقیم حساب کرد.

چون در این روش ها از میدان های الکتریکی و مغناطیسی استفاده می‌شود ،آن را روش الکترومغناطیس جدا سازی ایزوتوپ ها می‌نامند.

۳-۳ ذره α :

رادرفورد در آزمایشی برای پی بردن به چگونگی گسیل پرتو α، این ذره را با انرژی بالغ بر ۱۰Mev به سوی هسته ها تابانید ولی متوجه شد که با چنین انرژی زیادی ذرات α توان ورود به هسته را ندارند، در صورتی که ذرات α که از هسته بیرون می‌آید انرژی شان از $E_\alpha = 3009Mev$ می‌باشد. واقعیت چیست؟

داخل هسته نیروی قوی هسته ای حاکم است که نوکلئون ها را کنار هم قرار می‌دهد که نیرویی با برد کوتاه می‌باشد و محدوده عملش تا محدوده ای خاص است و فقط با ذرات حوالی خود واکنش می‌کنند و هر قدر از مرکز دور شود نیرو ضعیف شده و در سطح هسته همان مقدار انرژی که برای خروج از هسته را دارد برابر با مقدار انرژی که برای ماندن در هسته را دارد.

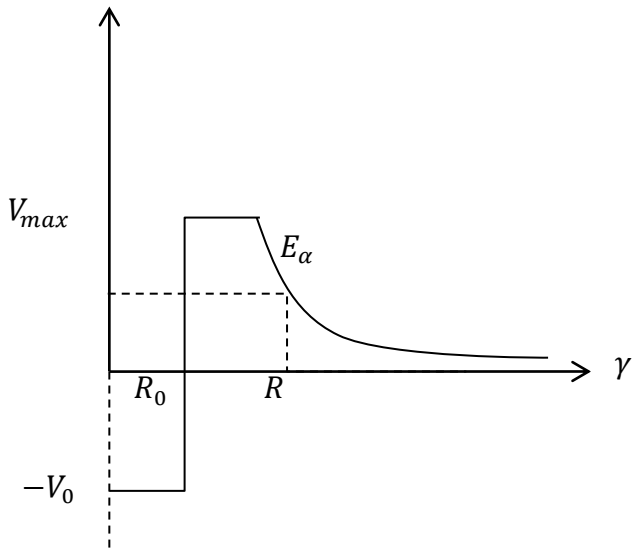
به هر حال اگر ذره $\boldsymbol{\alpha}$ بخواهد از درون هسته به بیرون بیاید باید انرژی برابر:

$$V \propto \frac{Z(Z - Z_0)}{\gamma} = 26\ MeV \qquad \gamma = R_0 A^{\frac{1}{3}}$$

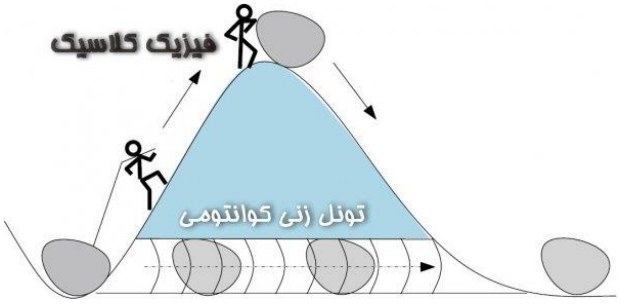
و وقتی از بیرون به داخل هسته نفوذ می کند $V \gg 26\ MeV$

چگونه ذره $\boldsymbol{\alpha}$ با این همه انرژی از داخل هسته به بیرون می‌آید؟

از سویی می دانیم که انرژی ذره α از Mev ۲۶ کمتر است و همچنین اگر با سرعت زیاد با انرژی Mev ۹ به خارج پرتاب می شود، یعنیMev (۲۶+۹) انرژی دارد. این انرژی از کجا تامین می شود؟ ذره α این مقدار انرژی را ندارد حال اگر فرض کنیم ذره α خود را به محدوده ای برساند که محدوده دافعه هسته ای است و انرژی گسیلش بیرون هسته از آن تأمین شود باز هم انرژی زیادی است که قدرت تامین آن از هسته نمی رود این مساله مانند این است که توپی را داشته باشیم و بخواهیم از یک سد پتانسیل مثل یک دیوار آن را عبور دهیم حداقل انرژی این است که بتوانیم انرژی به توپ بدهیم که بر پتانسیل غلبه کند و از آن بگذرد، اگر این انرژی را تامین کند توپ می‌گذرد در غیر این صورت از نظر فیزیک کلاسیک توپ، توان گذار از این سد را نخواهد داشت خب در این راستا ذره α به مثابه همان توپ است که در یک سد پتانسیل به نام هسته گرفتار شده است(شکل۳-۳).



شکل ۳-۳: نفوذ از سد در واپاشی آلفازا



شکل ۳-۵: در فیزیک کلاسیک تخته سنگ از بالای تپه عبور داده می شود اما در فیزیک کوانتوم برای عبور تخته سنگ میان تپه تونل زنی صورت می گیرد

چگونه با این مسئله مواجه شویم؟

اما ذره ی ما کم انرژی، که بر یک سد پتانسیل پر انرژی غلبه پیدا کرده است و عبور می کند.

از نظر فیزیک کلاسیک جوابی وجود ندارد، ولی از منظر مکانیک کوانتومی چطور؟

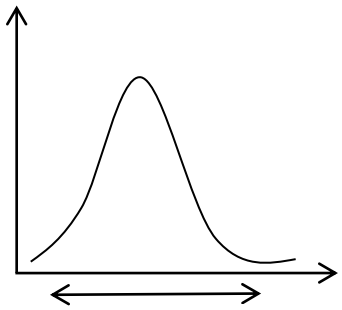
در این نگاه چگونه مساله را تحلیل کنیم؟ برای نگرش به این قضیه از نگاه شرودینگر[۱۰] به این ذرات نگاه می کنیم.

شرودینگر نگاهی موجی به ذرات دارد که از ایده های لویی دوبروی[۱۱] برداشت شده است لویی دوبرویی در سال ۱۹۲۴، (۱۳۰۳ ه.ش) ه.ش) نظریه ای را ارائه داد بر مبنای آن هر ذره مادی توسط موج ها همراهی و هدایت می شود و همراه با ماده در فضا انتشار می یابد که طول موج وابسته به این ذرات $\lambda = \frac{\hbar}{mv}$ می باشد، mv اندازه حرکت و λ طول موج وابسته به ذرات است، پس شرودینگر مکانیک موجی را پایه گذاری کرد که بر اساس آن ذرات از برهم نهش امواج حاصل می شوند. در این بر هم نهش که از قوانین

[۱۰] Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger

[۱۱] Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7th duc de Broglie

سریهای فوریه پیروی می کنند یک ذره در حالتی بیشترین میزان چشمداشتی (مقدار انتظاری) را داشته و هر چقدر از منطقه دور شویم میزان چشمداشتی کاسته می شود.



شکل ۳-۶

در این تحلیل از تابع موجی به نام ψ استفاده می شود ψ معنا دارد اما با آن حالتی که من نگاه می کنم معنی ندارد به عبارت دیگر $|\psi|^2 \to \psi\psi^*$ یعنی یک موج رفت و یک موج برگشت با هم تداخل می کنند که نتیجه یک موج ایستاده است که آن را محاسبه در یک منطقه بررسی می کنیم وبه اصطلاح بهنجار می کنیم. بنابراین مقدار چشمداشتی را می توان تعیین کرد.

معادله شرودینگر به صورت رابطه۳-۲ نوشته می شود.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2\hbar}{m}(E - V)\psi = 0 \qquad ۲-۳$$

در حالت کلی $E < V$ است چرا که اگر $E > V$ باشد مساله کلاسیک قرار می گیرد با در نظر گرفتن $E < V$، در عبور ذره از سد پتانسیل مفهومی به نام تونل زنی مطرح می شود که احتمال حضور را در ماورای سد پتانسیل میان تونل زنی هر چند هم کم باشد ولی از دید کوانتومی وجود دارد.

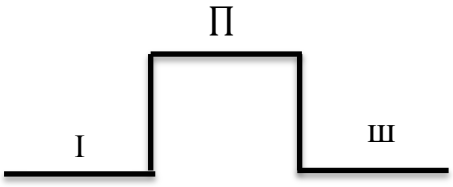
نکته دیگر در استفاده از معادله شرودینگر در حوزه کوانتومی این است که علاوه بر $E < V$ باشد، باید تابع موج را در زمره اعداد مختلط در نظر گرفت مفهوم عدد مختلط $Z = a - ib$ یعنی طبلی که صدایش بعدا در می آید یک قسمت از تعداد مختلط تاثیرات آنی یک حالت را نشان می دهد و قسمت مختلط آن یا قسمت موهومی طبلی است که صدایش

بعداً در می آید الان قابل رویت نیست تمام معادلات شرودینگر یک اثر آنی دارد و یک تاثیر بعدی .پس برای استفاده از معادله شرودینگر برای ذره آلفا باید به مواد زیر توجه کرد:

نخست ذره α به صورت ذره ای مستقل داخل هسته بود که نمی دانیم چگونه به وجود می آید ولی تعاملی به وجود می آید که ذره α به صورت مستقل عمل می کند.

باید ذره α دائم در حال حرکت باشد تا موج گرفتن آن منطقی باشد. این ذره برای خروج تلاش می کند تا بالاخره به هدف خود رسد. چون ذره استقلال دارد پس می تواند در هر جهتی حرکت کند و عمل ضربه زدن را ایجاد کند. بیشترین احتمال خروج ذره حرکت جهت مند می باشد. یعنی حرکت را یک بعدی کند نه سه بعدی، در نتیجه احتمال ایجاد تونل در حرکت یک بعدی بیشتر است در این حالت بهترین حالت تونل زدن وجود دارد.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2}+\frac{2m}{\hbar^2}(E_\alpha - V)\psi = 0 \qquad \text{I}$$



معادله فوق در ناحیه $\prod$ معنا پیدا می کند.

در حل معادله شرودینگر مشاهده می شود که می توان ذرهα از سد پتانسیل بگذرد و به بیرون پرتاپ شود.

۴-۳ اشعه β

اشعه بتا از عناصر رادیواکتیو گسیل می شود اما اشعه β چیست؟ برای پاسخ دادن به این پرسش می بایست در مورد هسته و مکانیزم آن مطالبی می دانستیم.

اولا می دانیم درون هسته از دو نوع اشعه به نام α وβ صادر می شود که اشعه α همان طور که گفتیم دارای جنسی از هسته هلیوم است و اشعه β نیز از جنس الکترون می باشد. حال با توجه به این دو مساله مدلی برای هسته پیشنهاد داده می شد. با چنین مدلی که بر

مبنای اشعه آلفا و بتا ارائه شد به آسانی می توان فهمید که مثلا چگونه تعداد ذرات آلفا می تواند به توالی در یک سری رادیواکتیو گسیل یابد. ولی تمام هسته ها رادیواکتیو نیستند و تمام آنها جرمشان مضربی از جرم یک ذره آلفا نیست مثلا هسته اتم سبکی مثل هیدروژن با جرم اتمی یک واحد بسیار سبک تر از آن است که شامل یک ذره آلفا همچون ایزوتوپ سبک هلیوم $_2He^3$ باشد.

یک ذره باردار مثبت با جرم واحد برای آنکه جزء سازنده هسته باشند متناسبتر است چنین ذره ای واقعا وجود دارد و آن هسته ایزوتوپ معمولی هیدروژن است این ذره را پروتون نامیدند. برطبق تئوری ساختمان اتمی رادرفورد –بور اتم هیدروژن مرکب از یک پروتون است که با یک تک الکترون در اطراف آن می گردد.

خوب به ظاهر این مساله صحیح است، که هسته را مرکب از اجتماع الکترون و پروتون بدانیم چرا که با وجود الکترون در درون هسته می توان توجیه کرد که هر از گاهی ممکن است الکترونی از هسته ای خارج و اشعه β بیافریند و با اجتماع چهار پروتون و دو الکترون یک هسته ذره α ساخته شده و به بیرون گسیل شود.

۳-۵ فرضیه پروتون

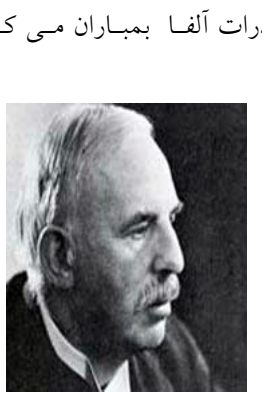
الکترون شبیه فکری است که فیزیکدان انگلیسی ویلیام پروت در سال ۸۱۵ م (۱۱۹۴) ارائه داد پروت برمبنای تعداد کمی از جرم های اتمی که در آن زمان شناخته شده بود فرض کرد که تمام جرم ها مضرب هایی از جرم اتمی هیدروژن هستند و گفت که در این صورت تمام عناصر باید از هیدروژن ساخته شده باشند فرضیه پروت بعدا در قرن نوزدهم وقتی جرم های اتمی بعضی از عناصر به ویژه جرم اتمی کل (۳۵/۴۶واحد) و مس(۵۴/ ۳۵واحد) معین شد، اعداد کسری هستند اعتبار خود را از دست داد ولی با کشف ایزوتوپ های دوباره قوت خود را بدست آورد چرا که بعضی از عناصر مانند نئون دارای ایزوتوپ های مخلوط متفاوت هستند که جرم هر کدام از ایزوتوپ ها به طور مسقل حاکی از نزدیک بودن به یک عدد صحیح است.

اما نکته شایان توجه در یک جا نهفته بود گرچه مدل پروتون الکترون می توانست گسیل اشعه های α وβ را توجیه کند ولی در مورد ساختار درونی هسته چگونه می توانستیم قضاوت کنیم؟ آیا هسته ای با عدد اتمی A مرکب از A پروتون است؟ اگر چنین باشد بار

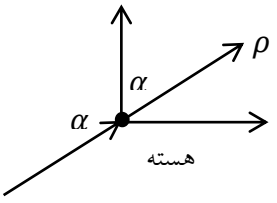
هسته A واحد خواهد بود اما می دانیم که جز هیدروژن بار هسته ای Z همواره کمتر از A ومعمولا از $\frac{1}{2}A$ است. برای حل این مشکل چنین فرض شد که هسته اتمی علاوه بر پروتون شامل الکترون های کافی نیز هست تا بار پروتون های اضافی را خنثی کند. بنابراین مناسب است که هسته را مرکب از A پروتون A-Z الکترون بدانیم و با Z الکترون اضافی که خارج از هسته اند سر جمع کل اتم را از لحاظ الکتریکی خنثی فرض می کنیم.

۳-۶ کشف استحاله مصنوعی در هسته:

در سال ۱۹۱۹م.(۱۲۹۸ه.ش) رادرفورد در پی آزمایش بر روی گاز نیتروژن به مساله ای عجیب برخورد کرد، زمانی که وی گاز نیتروژن را توسط ذرات آلفا بمباران می کرد، متوجه شد در اثر این بمباران دمای ذارات با، بار مثبت و با قدرت نفوذ بیشتر از ذره آلفا تولید می شود و ماهیت آن با پروتون برابری می کرد آزمایشات هم همین مورد تعیین می کرد. پس رادرفورد اذعان داشت در اثر بمباران گاز نیتروژن توسط اشعه آلفا، هسته نیتروژن از خود پروتون گسیل می کند گرچه این اتفاق بسیار نادر بود، یعنی از هر یک میلیون ذره آلفا، یک پروتون ظاهر می شد ولی به هر حال قابل توجه است.رادرفورد در صدد بود این مساله را توجیه کند. لذا دو پیشنهاد را مطرح کرد اول اینکه در اثر تصادم ذره آلفا به هسته نیتروژن یک ذره پروتون از آن جدا می شود و دوم اینکه ذره آلفا جذب هسته اتم نیتروژن شده و بعد از جذب متلاشی شده و یک پروتون از خود گسیل می کند.

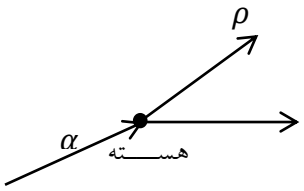


حال کدام نظر درست است این مساله را باید در آزمایش و در آشکارساز ابری ویلسون مشاهده کرد نظریات نشان می دهد که اگر قرار باشد، نظر اول صحیح باشد پس لاجرم در اثر برخورد آلفا با هسته نیتروژن سه مسیر را مطابق شکل ۳-۷ داریم:



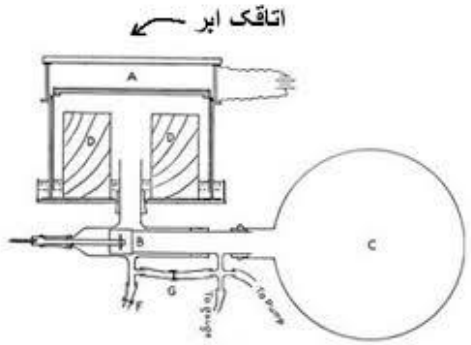
شکل ۳-۷

اگر نظریه دوم درست باشد یعنی در اتاق ویلسون رد به شکل زیر دیده می شود:



شکل ۳-۸

اتاق ابرویلسون ابزاری است که دارای پیستونی می باشد. وقتی پیستون به طور سریع رو به پایین حرکت کند گاز درون استوانه سرد می شود و با بخار آب به حالت فوق اشباع در می آید ذرات بخارآب بر روی یون های تولید شده در طول مسیر یک ذره تولید شده ذره باردار پر انرژی متراکم و بدین وسیله یک رد روشن به وجود می آید ویلسون اسکاتلندی به خاطر اختراع اتاقک ابر در گرفتن جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۲۷– ۱۳۰۶با کمپتون سهیم شد.

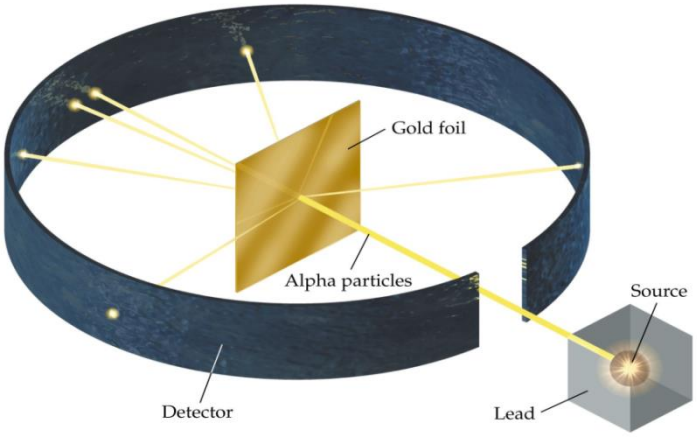


شکل ۳-۹: اتاقک ابر ویلسون

و اما دستگاهی که رادرفورد با آن کار می کرد. برای آشکار سازی پروتون ها از فروپاشی با ذرات مورد استفاده قرار گرفت. منبع بر پایه متحرک D جای دارد هسته های

هسته های نیتروژن در گاز نیتروزنی که جعبه را پر کرده به وسیله ذرات استحاله مـی یابـد. در انتهای جعبه یک ورقه نقره قرار دارد.

ضخامت این ورقه کافیست تا ذرات را متوقف کند لیکن پروتون هـا از آن عبـور مـی کنند. در پشت این ورقه از جنس سرب سـولفید S قـرار دارد کـه وقتـی پروتـون هـا بـه آن برخورد می کنند



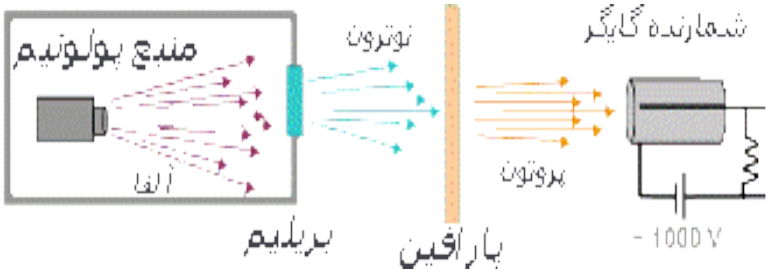
شکل ۳-۱۰: آزمایش رادرفورد

جرقه هایی از نور تولید می شود برای دیدن این جرقه ها باید پرده را با میکروسکوپ در جایی که چشم به تاریکی عادت کرده نگریست. بررسی ها نشان داد که به هر حال نظریـه دومی درست است.

۳-۷ کشف نوترون:

در سال ۱۹۳۲م (۱۳۱۱ ه.ش) در آزمایش خاص وقتی نمونـه هـایی از بریلیـوم را بـا ذرات آلفا بمباران می کردند تابش هایی از آنها گسیل می شد که به علت قدرت نفوذ زیـاد آن تصور می کردند که در زمره اشعه γ قرار دارد. آزمایشات نشان می داد که حتی قدرت نفـوذ و

انرژی این پرتوها تولید شده از پرتو هایγ بیشتر بدست آمده بود. ایـرن کـوری دختـر مـادام کوری و دامادش این اشـعه را بـه درون پارافین(پـارافین مـاده ی غنـی از هیـدروژن اسـت). هدایت کردند و مشاهده کردند که در اثر بمباران پارافین بـا ایـن اشـعه مقـادیر قابـل تـوجهی پروتون از پارافین گسیل می شود.



شکل ۳-۱۱: تابش حاصل از بریلیم وقتی به پارافین برخورد می کند، تعداد زیادی هسته ی هیدروژن (پروتون) از پارافین می راند

برخورد این اشعه به پارافین و گسیل پروتون ها چگونه توجیه می شد؟ معلوم شد کـه انرژی این پرتون ها حدود ۵ مگا الکترون ولت است، آنها با استفاده از اصول پایستگی انـدازه حرکت و پایستگی انرژی حساب کردند که اگر انرژی یک پرتو اگر γ نباشد در یک برخـورد ۵مگا الکترون ولت انرژی به یک پروتون منتقل کند باید اشعه γ اولا مقـدار ۱۰مگـا الکتـرون ولت انرژی داشته باشد تا بتواند پروتون را از پارافین جدا کند و ثانیاً ۵ الکتـرون ولـت انـرژی جنبشی به پروتون بدهد که این میزان انرژی خیلی بیشتر از میزان انرژی است که پرتوی گامـا دارند و در نگاه اول اصل پایستگی انرژی نقض می شود. از طرفی هم وقتی در حـال پروتـون ها نگاه می کنیم جهت های گسیلش آنها بقای اندازه حرکت را هم زیر سـوال مـی بـرد. ایـن اختلاف فیزیکدانها را بر سر دو راهی قرار داد، یا باید چنین نتیجه گیری که اصـول پایسـتگی اندازه حرکت و انرژی در برخورد بین تابش مذکور و پروتون های موجود در پارافین را قبـول

می کردند یا باید به سراغ نظریه ای دیگر می رفتند، نقض قـوانین پایسـتگی انـرژی و انـدازه حرکت یعنی انهدام فیزیک کلاسیک.

فیزیکدان انگلیسی به نام جیمز چادویک کـه از همکـاران رادرفـورد بـود بـا نگـاه بـه کارهای خاندان کوری و تجربه مشابه خود در مـورد عناصـری چـون هلیـوم، لیتـیم، کـربن و نتیتروژن و آرگون در مقاله ای می نویسد:

شکل ۳-۱۲: جیمز چادویک

«اگر ما فرض کنیم تابش مورد نظر تـابش کوانتـومی γ نیسـت بلکه مرکب از ذره هایی است با جرم بسیار نزدیک بـه جـرم پروتـون تمام اشکالات مربوط به برخـورد هـا از میـان مـی رود هـم در مـورد فرکانس آنها وهم در مورد انتقال انرژی به جـرم هـای متفـاوت بـرای توضیح قدرت نفوذ زیاد این تـابش بایـد فـرض کنـیم کـه ذرات بـار موثری ندارد باید فرض کنیم که هریک از آنها ترکیب نزدیک به همی از یک پروتون و یک الکترون است. و همان نوترونی اسـت کـه رادرفـورد درسـخنرانی سـال ۱۹۲۰ خود آن را مورد بحث قرار داد.» طبق فرضیه چادویک، وقتی عنصری مانند بریلیم با ذره آلفا بمباران شود، واکنش هسته ای صورت می گیرد که نوترون تولید می کند.

$$_2He^4+_4Be^9\rightarrow_6C^{12}+_0n^1$$

دراینجا نماد $_0n^1$ نمایانگر نوترون است نوترونی که بنا برفرض چادویک بـار صـفر و جرمی برابر دارد. چنین نوترونی به علت عدم نداشتن بار می تواند در ماده متراکمـی همچـون سرب نفوذ کند بدون آنکه انرژی خود را از دست بدهد و وقتی وارد پارافین می شوند گـاه و بیگاه برخوردهایی رو در رو با هیدروژن پیدا کرده است پس پروتون ها را از جدا کرده و بـه بیرون پرتاپ می کند. برخوردهایی که در این نظرصورت می گرفـت از زمـره برخـورد هـای کلاسیک محسوب می شد و حتی می توان نوترون را از قوانین کلاسیکی بدست آورد.

با کشف نوترون در سال ۱۹۳۲ این تصور حاصل شد که اجزای اصلی ساختمان مـاده پروتون، نوترون و الکترون است.

۳-۷-۱ محاسبه جرم نوترون

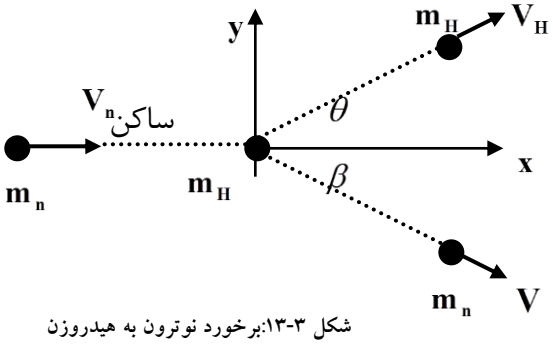
m_n: جرم نوترون

m_H: جرم هسته هیدروژن

V_n: سرعت نوترون قبل ازبرخورد

$\mathbf{V}$ -: سرعت نوترون پس ازبرخورد

V_H: سرعت هسته هیدروژن بعد ازبرخورد



شکل ۳-۱۳:برخورد نوترون به هیدروزن

ازپایستگی تکانه درامتداد محورهای **x و y** می توان نوشت:

$$m_n V_n = m_H V_H Cos\theta + m_n V_{COS}\beta \quad (۳-۴$$

$$۰ = m_H V_H Sin\theta - m_n V_H Sin\beta \quad ۳-۵$$

$$\frac{1}{2}\mathbf{m_n} V_n^2 = \frac{1}{2} m_H V_H^2 + \frac{1}{2} m_n V^2 \quad ۳-۶$$

ازروابط فوق بدست می آید:

$$\mathbf{V_H}(1+\frac{m_H}{m_n}) = 2V_n Cos\theta \quad ۳-۷$$

با توجه به رابطه ی (۳-۷) ملاحظه می شودکه به ازای $\theta = ۰$ (یعنی برخورد رودررو) V_H ماگزیمم خواهدبود.

$$(\mathbf{V_H})_{\max} = \frac{2m_n V_n}{m_n + m_H} \quad ۳-۸$$

بررسی رابطه (۳-۸) نشان مـی دهدکـه درآن دومجهـول $\mathbf{V_n}$ و m_nوجـوددارد. بـرای حذف کردن مجهول Vnچادویک ،قطعه ای پاراسیانوژن(CN)را به جای پـارافین قـرارداد.در این حالت نوترونها به جای برخورد با هسته های هیدروژن (H) با هسته هـای نیتـروژن (N) برخورد کشسان انجام میدهد.

اگر در رابطـه (۵)بـه جـای m_Hو V_H بـه ترتیـب $\mathbf{m_N}$ **(جـرم نیتـروژن)و** V_N **را قراردهیم باز هم رابطه صادق خواهد بود:**

$$(\mathbf{V_N})_{\max} = \frac{2m_nV_n}{m_n + m_N} \qquad \text{۹-۳}$$

حال اگر V_n (سرعت نوترونها)را بین دوروابط (۳-۸)و۳-۹ حذف کنیم بدست می آید

$$\frac{(\mathrm{V_N})_{\max}}{(V_H)_{\max}} = \frac{m_n + m_{\mathrm{H}}}{m_n + m_N} \qquad \text{۱۰-۳}$$

جادویک مقادیر زیر را برای V_H و V_N به دست آورد

$$\mathbf{V_H} = \mathbf{3.3}\times\mathbf{10^7}\ \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}}$$

$$\mathbf{V_N} = \mathbf{4.7}\times\mathbf{10^6}\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

اگر این مقادیر بعـلا وه ی مقـادیر $\mathrm{m_H} = 1u$ و $m_N = 14u$ رادر رابطـه ی (۳-۱۰) قرار دهیم بدست می آید

$$\mathbf{m_n} = 1.15u$$

که با مقدار تایید شده جرم نوترون $\mathbf{m_n} = 1.00867u$ حدودا ۱۵ درصد اخـتلا ف دارد.

۳-۸ تئوری پروتون-نوترونی ترکیب هسته های اتمی

کشف نوترون با جرم نزدیک به پروتون تاییدیه ای بر نظریه رادرفورد مبنی براینکه هسته اتم از دو ذره پروتون و نوترون ساخته شده است.

این نظریه بعد از مدتی کوتاه در سال ۱۹۳۲(۱۳۱۱ه.ش) به وسیله هایزنبرگ به عنوان مبنای یک تئوری هسته ای مفصل تر قرار گرفت و هنوز هم مبنای تلاش هایی است که برای بیان خواص و ساختار هسته به عمل می آید. برطبق فرضیه پروتون – نوترون هسته یک اتم با عدداتمیZ و عدد جرمیA مرکب ازZ پروتون و$A-Z$ نوترون است. هسته های ایزوتوپ های یک عنصر معین از لحاظ تعداد نوترون با هم تفاوت دارد مثلا ایزوتوپ های هیدروژن با عدد اتمی ۱ شامل یک پروتون و هسته هیدروژنی با عدد جرمی ۲ شامل یک پروتون و یک نوترون می باشد و یا هسته نئون Ne^{20} دارای ۱۰ پروتون و ۱۰ نوترون و ایزوتوپ آن Ne^{22} دارای ۱۰ پروتون و۱۲ نوترون می باشد.

آیا فرضیه پروتون – نوترونی ساختمان هسته با واقعیت های رادیواکتیوی مطابقت می کند؟

آیا می توان گسیل ذره α وβ را توجیه علمی کرد؟

ذره α ممکن است به صورت یک ذره وجود داشته باشد یا ممکن است در لحظه گسیل تشکیل شود البته امروز امکان دومی محتمل تر به نظر می رسد لیکن اگر هسته مرکب از پروتون و نوترون باشد ذره β از کجا می آید؟

قاعده دوم تبدیل رادیواکتیو در این میان راهگشاست. وقتی هسته ای ذره β گسیل می دارد بار Z برای آن به قدر یک واحد افزایش می یابد در حالی که عدد جرمی A آن باقی می ماند و این در صورتی است که یک نوترون به یک پروتون و یک ذره β تبدیل می شود.

۳-۹ تابش β:

همانطور که گفتیم با توجه به قبول مدل هسته ای شامل نوترون و پروتون با آنکه اشعهα تا حدودی قابل توجیه بود ولی برای ذره β باید فرضیه مورد توجه قرار می گرفت که طبق آن فرضیه بنابر آنکه در واپاشی β عدد جرمی بدون تغییر باقی می ماند بار Z به اندازه یک واحد افزایش می یابد گویی اینکه یک نوترون به پروتون و β واپاشیده می شود، اما این

فرایند چگونه اتفاق می افتد؟ در صورتی که چنین واپاشی صورت پذیرد می بایست از انرژی موجود در هسته کاهش یافته انرژی آن به β گسیل داده می شد. ولی مساله این بود که انـرژی ذره β بسیار کمتر از انرژی کاهش یافته هسته بود، حتی گاهی کمتـر از نصـف انـرژی و ایـن مساله قویاً قانون پایستگی انرژی را به چالش می کشـید و عنـوان مـی داشـت در واپاشـی β محتملا قانون بقای انرژی نقض می شود.

اما فیزیک دانان نمی خواستند زیر بار این موضوع بروند تا اینکه در سال ۱۹۳۳ فردی به نام ولفگانگ پائولی چاره‌ای برای حفظ اصل پایستگی انرژی در تولیـد ذرات بتـا اندیشـید. ناگزیر ذره ای با انرژی خنثی و با جرم نزدیک به صفر را مورد پذیرش قرار دادند که بعـد هـا فرمی آن را **نوترینو** نامید. این نوترینو ها در جریان تباهی مقداری از انرژی کاهش یافته هسته را با خود حمل می کنند، و حتی قانون بقای پایستگی اندازه حرکت را هم حفظ می کنند.

$$n \Longrightarrow P + B^{-} + ?$$

اما آشکارسازی این ذره فوق العاده مشکل و غیر ممکن بود. تا آنکه بعد از ۲۵ سال از ارائه این تئوری یعنی در سال ۱۹۲۵(۱۳۰۴ه.ش) باتکنیک خاصی این ذره ها را ردیابی کردند. در این تکنیک در نزدیکی یک راکتور هسته ای پیش بینی می شد که مقـادیر زیـادی نوتریـنـو گسیل می کند از روش عکس واپاشی بتـا یعنـی ترکیـب پروتـون و الکتـرون و تونرینـو، ذره نوترونی تولید می شد مادامی که رآکتور روشن بود نوترونهـا بـه وجـود مـی آمدنـد و وقتـی خاموش می شد گسیل آنها متوقف می شد این آزمایش بر وجود ذره ای به نام نوترینـو موییـد بود. یک پیچیدگی دیگری هم وجود دارد امروز معلوم شده است که چند نوع نوترینو در عالم وجود دارد یک نوع آن در تباهی بتا دخالت دارد امروزه به آنتی نوترینو شناخته می شود و بـا نماد $\bar{\nu}$ مشخص می گردد در این صورت تبدیل یک نوترون به هنگام گسیل β به صورت زیر نوشته می شود:

$$_{0}n^{1} \rightarrow {}_{1}p^{1} + {}_{-1}e^{0} + \bar{\nu}$$

یک نوع واپاشی هسته ای در فیزیک است که در دو نوع β^- و β^+ اتفاق می افتد در واپاشی β^- نیروی هسته ای ضعیف موجب می شود که نوترون به ذره های زیر واپاشی کند:
n^0 تبدیل می شود به p^+همراه الکترون e^- و یک پاد نوترینو $\overline{\nu}$

$$n^0 \longrightarrow p^+ + e^- + \overline{\nu}_e$$

در واپاشی β^+، انرژی برای تبدیل پروتون به نوترون استفاده می شود که به همراه آن یک پوزیترون و یک نوترینو ایجاد می گردند:

$$Energy + p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \overline{\nu}_e$$

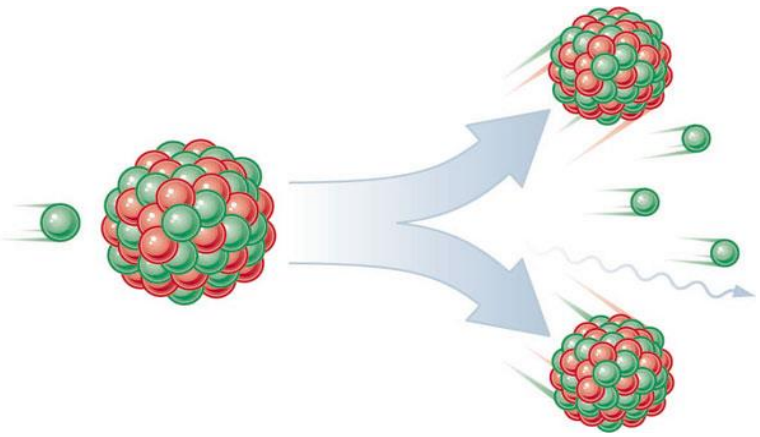
فصـــل چهارم

نیروی هسته ای ضعیف

همه اجسام پایدار موجود در جهان از یک لپتون (الکترون) و دو کوارک (بالا- پـایین) ساخته شده اند که ترکیب این دو کوارک به صورت پروتون و نوترون ظاهر می شود.

نیروی هسته‌ای ضعیف که بین کوارک‌ها و لپتون‌ها اتفاق می‌افتد، باعث تبدیل و تبـادل انرژی و تکانه بین آن‌ها می‌شود. نیروی هسته ای ضعیف باعث مـی شـود کـه کـوارک هـا و لپتونها سنگین به کوارک ها و لپتون ها ی سبکتر واپاشیده شوند.

لازم به ذکر است که کوارک ها و لپتونها، سـنگین بـه دلیـل وجـود نیـروی هسـته ای ضعیف قابل مشاهده نیستند



شکل ۴-۱

۴-۱ نظریه فرمی در مورد واپاشی بتازا

ساده ترین تجلی β، یک نوترون به یک پروتون، یک الکترون ویک پادنوترینو تبدیل می شود.

$$n \rightarrow p + e^{-} + \nu^{-}$$

فرمی، این واپاشی را به عنوان الگویی برای بر هم کنش های ضعیف فرض می کرد و به این ترتیب آن را به صورت چهار فرمیون که در یک نقطه واکنش می کنند توصیف کرد. وی مطلب را به صورت ریاضی این طور بیان کرد:

که در یک نقطه از فضا – زمان، تابع موج مکانیکی کوانتومی نوترون به تابع موج پروتون تبدیل می شود و تابع موج نوترینویی ورودی دو معادل پاد نوترینوی خروجی که ما واقعا مشاهده می کنیم، به تابع موج الکترون تبدیل می شود پس این واکنش از ضرب توابع موج در ضرایب نا معلوم Γ که بر تبدیلات اثر تبدیل می شود و با عامل دیگر G_f که ثابت جفت شدگی فرمی خوانده می شود توصیف می شود. این ثابت کمیتی است که بر قدرت ذاتی بر هم کنش های ضعیف نظارت دارد و از این رو بر آهنگ تلاشی اثر می گذارد بنابراین دامنه تلاشیβ عبارتست از:

$$M = G_f(\psi_p \Gamma \psi_n)(\psi_e \Gamma \psi_\gamma) \qquad ۱-۴$$

عامل Γ محتوای جوهر اثرات برهم کنش ضعیف می باشند و به تبدیل ذرات منجر می شوند کشف سرشت این کمیات دانشمندان را به مبارزه می طلبد.

از روی بررسی زوایای گسیل بین فرآورده های خروجی تلاشی β و انرژی های مختلف آنها، می توان انتخاب را محدود کرد. این کار سالیان سال به درازا کشید. در واقع تا وقتی اثر نقص کننده پاریته نیروی ضعیف شناخته نشد، سرشت آنها تایید نشد.

در سال (۱۳۳۵ ه.ش) لی ویانگ اظهار داشتند که ضرایب برهم کنش Γ محتوی مخلوطی از کمیات برداری و برداری محوری هستند تا بتوان آثار نقض کننده پاریته برهم کنش ها را توضیح داد.

۴-۲ نقض پاریته

آزمایشی را ترتیب می دهیم که در این آزمایش مشاهده چند نامتقارنی فضایی در گسیل الکترون های ناشی از کبالت در تلاشی β آن بود که می توانست به تمایزی بین

تلاشیβ و تصویر آینه ای آن منجر شود فرآیند مورد سوال تلاشی β پرتوزای عادی کبالت به نیکل بود.

$$Co^{60} \rightarrow Ni^{60} + e^{-} + \overline{\nu}$$

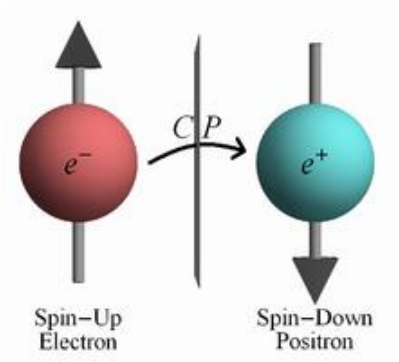
تمایز بین تلاشی β و تصویر آینه ای آن یعنی چه؟

در چه موقع تصاویر باهم تمایز ندارند؟

فرض کنیم فردی در درون آینه به تصویر خود نگاه می کند این شخصی که تصویر خود را در آینه می بیند بدون هیچ تغییری تنها تغییری که در آن حاصل می شود این است که جهت چپ و راست در تصویر معکوس شده است یعنی اگر قلب من در سمت چپ بدن من قرار دارد در تصویر در جهت راست قرار دارد و اگر دست راست را بالا برم، در تصویر دست چپ بالا می رود اما اگر تصویر را در نظر بگیریم این تصویر با فرد حقیقی که در مقابل ما نشسته چه فرقی میکند، اگر شما تصویر خود را در آینه ببینید و فردی حقیقی که برادر دو قلوی شماست در کنار تصویر آینه نشسته باشد اگر قرار گذاشتید که شما دست خود را بالا ببرید برادرتان همان دستی که مقابل دست شماست بالا ببرد شما دست راست خود را بالا بردید در تصویر دست چپ خود را بالا بردید و برادرتان هم دست چپ را بالا ببرد حال فرض کنیدقلب شما معلوم باشد قلب شما در سمت چپ بدن است در تصویر شما قلب سمت راست بدن است اما قلب برادر شما در سمت چپ بدنش قرار دارد یعنی تصویر با آنچه واقعیت است متفاوت است در تصویر قلب شما در سمت راست است اما برادرتان قلبش در سمت چپ است. آنچه در نقش قانون پاریته در تابش بتازا اتفاق می افتد به همین گونه است که ما در عمل مشاهده می کنیم که و قتی تابش بتازا از هسته اتفاق می افتد در جهت چپ هسته گسیل بتازا بیشتر از جهت راست است اصل بقای پاریته عنوان می دارد که اگر ما تصویر آن را در آینه ببینیم یعنی اگر مشابه به آینه فضای خود را وارون کنیم پس لاجرم می بایست که ما مشاهده کنیم که گسیل بتا در جهت راست اتفاق بیفتد، اما مشاهدات نشان می دهد که تابش بتا در تصویر در جهت چپ تصویر بیشتر اتفاق می افتد یعنی همانند قلب برادرتان که همواره در سمت چپ است.گوئی که تابش بتا قانون پاریته را نقض می کند، در تصویر بالا باید جهت مخالف حالت واقعی باشد در صورتی که چنین نیست.

برای آزمایش نخست لازم بود جهتی در فضا مشخص شـود کـه کبالـت از آن آگـاهی داشته باشد و بعد گسیل الکترونهای حاصل از تلاشی نسبت به آن جهت انداره گیری می شود این کار با برقراری یک میدان مغناطیسی در دو سر یک نمونه از کبالت که تـا درجـه حـرارت بسیار پایینی خنک می شود انجام گرفت.

در این وضعیت اسپین هسته ها ترجیحا در امتداد راستای میدان مغناطیسـی قـرار مـی گیرد. با اندازه گیری گسیل الکترونها حاصل از تلاشیβ در جهت سمت گیری اسپین هسته ای یا خلاف آن هر گونه نا متقارنی می توانست آشکار شود .



شکل ۴-۲

می توان نشان دادکه جهت اسپین در انعکاس آینه ای و نیز تحت تغییـر جهـت میـدان مغناطیسی است. اما جهتی که الکترون های حاصل از تلاشی β گسیل شـدند تحـت انعکـاس آینه ای تغییر کردند و در نتیجه هر گونه نا متقارنی که در گسیل الکترون نسبت به جهت میدان مغناطیسی اندازه گیری شود در فرآیند تصویر آینه ای معکوس دیده خواهد شد از این رو خود فرآیند و تصویر آینه ای آن قابل تشخیص خواهند بود و این نیروی ضعیف است کـه موجـب تلاشی β هسته ای می شود و می تواند جهت راست را از چپ تشخیص دهد. ضربه حاصـل از کشف فوق به این منجر شد که یک فیزیکدان عالی مقام خداوند را به چپ گردی ضـعیف متهم کرد.

۴-۲-۱ چپ گرایی و راست گرایی مطلق:

در فلسفه مسئله بالا و پایین و جهت چپ و راست مورد مطالعه قرار می گیرد در فلسفه بالا و پایین را امری حقیقی تلقی می کنند از آنجا که اجرام سبک تمایل دارند به سمت بالا بروند و اجرام سنگین میل به پایین دارند مساله بالا و پایین را امری مطلق و حقیقی نشان می دهد در صورتی که مورد چپ و راست به عنوان قرار دادی یادی شد اما با مساله نقض پاریته و چپ گرایی ذاتی الکترون های گسیلی این قاعده ایجاد می شود که طرف چپ را به سمتی اطلاق می کنند که در اثر واکنش بتازا اکثر الکترونها به سوی آن جهت گرایش دارند و این امری ماده تشکیل شده این امر صادق است ولی آیا در جهان ضد ماده هم چنین امری صادق است. مثلا همین تعریف را به موجوداتی بدهیم که در جهانی ماورای این جهان در جهانی ضد ماده زندگی می کنند مساله این است که آیا این تعریف هم برای آنها درست است یا خیر. برای پی بردن به این موضوع باید ببینیم که همان طور که قانون پاریته را نقض می کند، آیا نسبت به ضد ماده هم حالت خود را حفظ می کند یا خیر؟ مثلا در تعریف پادماده این را بگوییم در همان مثال تصویر و برادر دو قلو در پادماده خودمان مثلا آدمی باشد که قلب آن در سمت راست قرار گرفته باشد وقتی در مقابل آینه قرار می گیرد تصویر قلب را درسمت چپ می بیند در صورتی که اگر برادر دو قلوی پادماده ای مان در جلوی مان نشسته باشد قلب وی در سمت راستش خواهد بود یعنی باز نقض پاریته در اینجا وجود دارد ولی نکته ای دیگر در آن هست که عده ای قائل به نقض یک قانون دیگر در این حالت هستند به این صورت که در تلاشی بتا دوباره در این حالت دیده میشود که ماکزیمم تشعع بتا در جهت چپ گرد باشد که قابل تامل است.

فصـــل پنجم

شتاب دهنده های ذرات

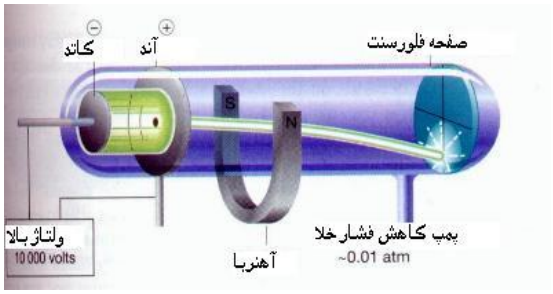
دانشمندان برای دسترسی به عمق هسته روش هـای بمبـاران بوسـیله اشـعه α را مـی آزمودند ولی نکته اینجا که ذرات آلفا در مواجه با هسته عناصر سنگین کارآیی لازم را نداشـت چرا که قدرت بار مثبت آن جلوی نفوذ آن را می گرفت پس لاجـرم بـه دنبـال ذره ای دیگـر رفتند ذره دیگر پروتون بود که در مورد درون جدا کننده هایی پروتونی تولید می شود پس بـه علت اینکه پروتون نسبت به α بار کمتری داشته پس لاجرم قدرت نفوذ بیشـتری داشـت هـر قدر سرعت و انرژی ذرات بیشتر بود قدرت نفوذ آنها بیشتر بود بـدین لحـاظ مـردم بـه فکـر ساخت شتابدهنده هایی افتادند که نا عمق هسته ها پیش برود.

با یک میدان الکتریکی به ذرات شـتاب داده مـی شـود در بعضـی مـوارد یـک میـدان مغناطیسی نیز با یک میدان الکتریکی شتاب داده می شود. تا مسـیر ذرات کنتـرل شـود یعنـی مسیر ذرات راهنمایی و تحت اختیار باشد ساده ترین نوع این وسایل یـک ولتـاژ بـالای تـک مرحله ای دارد. این ماشین ها عملا نمی توانند بالای حدود ده ملیون ولت عمل کنند بنـابراین آنها نمی توانند برای 10Mevمفید واقع شوند.

مهمترین بخش یک شتاب دهنده فاصله میان الکترون ها است ذره هنگام عبور از ایـن فاصله نسبت به اختلاف و لتاژ اعمال شده شتاب می گیرد یک منبع تولید ذره نیز مورد احتیاج

است در اینجا سیم گداخته است که الکترون گسیل می کند برای انتخاب یک پرتو باریک روشی مورد نیاز است که در اینجا شکاف استفاده شده است.

الکترون هایی که از شکاف رد می شوند بوسیله ای پرده ای مشبک با بار مبثت که در انتهای فاصله قرار دارد کشیده می شوند. بیشتر ذرات شتاب یافته از شبکه های خالی میان سیم ها عبور می کنند.

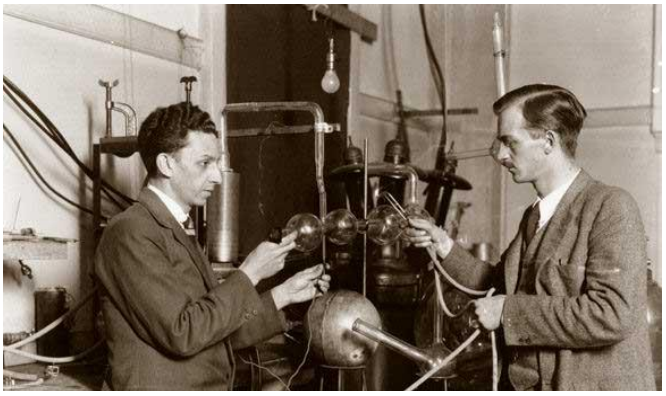


شکل ۵-۱:تیوب اشعه x

پرتویی از ذرات بوسیله هدفی پراکنده شده است دستگاه شمارشی الکترونیکی تمام ذراتی را که در زاویه θ نسبت به جهت پرتو نخست پراکنده می شوند ردیابی می کند. در ردیابی های شتاب دهنده ها اغلب پیش از هزاران شمارشگر در زاویه های گوناگون نصب شده است.

۵-۱ شتابدهنده الکترواستاتیک کوک کرافت – والتون

در سال ۱۹۳۰ جان داکلاس کوک کرافت و ارنست توماس سینتون والتون با استفاده از واحدهای یکسوساز ولتاژ بالا یک منبع ولتاژ بالا را توسعه دادند. در سال ۱۹۳۲ آنها به ولتاژ خروجی۴۰۰ kv برای رسیدن به نخستین واکنش هسته ای انجام شده توسط بشر، $D+Li\rightarrow 2He$ نائل شدند

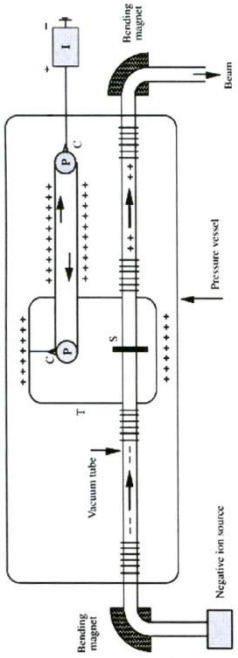


شکل ۵-۲: ساده ترین شتابدهنده‌ه که توسط جان کاکرافت و ارنست والتون صورت گرفت که در آن خازن‌ها در اتصال موازی به یک پتانسیل مشترک وصل شده‌اند و سپس به طور متوالی تخلیه می‌شوند.

۵-۲ واندوگراف

دستگاهی موسوم به **واندوگراف** است این دستگاه ذرات مبثت را شتاب می دهد در منبع تولید یون جرقه ای الکترون های گازی مانند هیدروژن را از هسته جدا می کنند برای جلو گیری از جرقه های دیگر یون هادر داخل یک مخزن پر فشار قرار می گیرند.

تسمه ای میکانیکی که حامل بار الکتریکی است می تواند پوششی از ولتاژ در حدود ۰/۱الی MeV ۱۰را روی تانک بگذارد یون ها از داخل لو له ای که از هوا تهی شده به طرف هدفی شتاب داده می شود. وانرژی بدست می آورند. آهنربای خاصی یو نها را به طرف هدف هدایت می کند



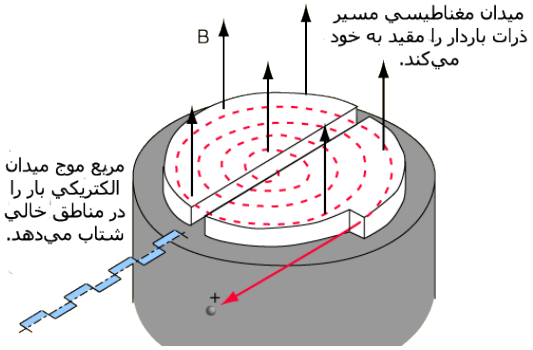
شکل ۵-۳ اصول کار شتاب دهنده واندوگراف تاندوم

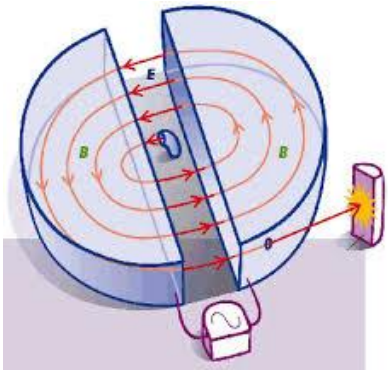
شکل ۵-۴: شتاب دهنده واندوگراف

۵-۳ سیکلوترون[۱۲]

سیکلوترون ها نوع دیگر شتابدهنده ها هستند که با میدان های مغناطیسی کار میکنند. در این توع شتاب دهنده ذرات به جای اینکه روی مسیر مستقیمی شتاب داده شوند در یک مسیر مارپیچی نیم دایره ای شتاب می گیرد وذرات، بار ها در میدان شتابدهنده های کم و لتاژ یکسانی می چرخند.سیکلوترون دارای یک چشمه یونی است که بین دو صفحه نیم دایره میان تهی قرار گرفته است.به این صفحه ها دی(D) گفته می شود.ذرات بر اثر اعمال یک میدان مغناطیسی در مسیر دایروی حرکت می کنند و با تغییر علامت ولتاژ صفحه ها، ذرات نسبت به مرحله قبلی در مسیری با شعاع بزرگتر قرار گرفته و انرژی بیشتری دریافت می کند. بعضی از این شتاب دهنده ها الکترون های ۷ GeV با پرو تون های ۵۰۰ GeV تولید می کند.

[12] Cyclotron





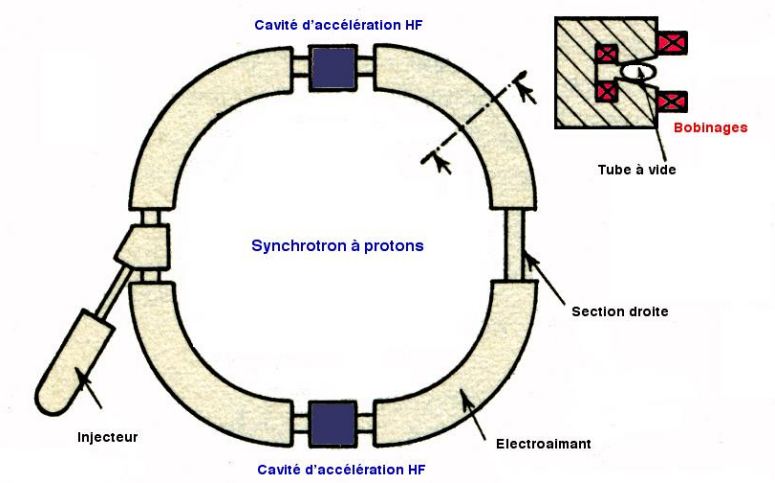
شکل ۵-۵: نحوه عملکرد سیکلوترون

سرانجام شعاع مسیر مارپیچی ذرات که باید سیکلوترون آنها را در حرکت بعدی خـود نگه دارد بسیار بزرگتر شده و ذرات توسط میدان الکتریکی داخل سیکلوترون به طرف هـدف منحرف می شود(شکل۵-۵).

۵-۴ سینکروترون[۱۳]

در این نوع از شتاب دهنده ها از طریق میدان مغناطیسی و بسامد، امکان حرکت ذرات در مدارها با شعاع ثابت به جای مدل مارپیچی سیکلوترون فراهم شده. در سینکروترون ها بـه جای دی ها تنها یک لوله بسته انحنا دار وجود دارد که حاوی ذرات اسـت. مغـاطیس هـا بـه شکل C به تناوب در طول لوله جایگزین شده اند. ذرات به وسیله یک شتاب دهنده کـوچکتر به داخل حلقه تزریق شده و در داخل لوله به وسیله مغناطیس ها نگـه داری مـی شوند.شـتاب ذارت به وسیله حفره های شتاب دهنده انجام می گیرد(شکل ۵-۶).

[۱۳] Synchrotron



شکل ۵-۶: نحوه عملکرد سینکروترون

فصـــل ششم

نگرشی بر ذرات بنیادی

با پیشرفت هایی که در حوزه شتابدهنده ها به دست آمده و همچنین کشف ها و تکنیک های جدید که در حوزه کانون یابی حاصل شد توانستند اشعه ای از پروتون را تا حدود ۳۰GeV شتاب دهند.

کانون یابی قوی با میدان مغناطیسی چهار قطبی ایجاد می شود چون یک عدسی عمل می کند که یا متوجه کانون می کند و یا از کانون دور می سازد بهترین روش برای نگهداری یک مسیر استوار کانون یابی و کانون گریزی است.

۶-۱ کشف نوترینوی موئون:

نخستین کشف مهم AGS بنام آزمایش (دو نوترینو) در سال ۱۳۶۱-۱۳۴۰ شمسی اتفاق افتاد. آزمایشی که در آن پیشنهاد استفاده از نوترینوی پر انرژی مطرح شد.

شتاب دهنده بروک هاون[۱۴] مجهز شد تا بتواند گروه زیادی پروتون را از انرژی ۱۵Gev به هدف فلزی برلیوم بتاباند. برخورد پروتون های پر انرژی نه تنها هسته هلیوم برلیوم را به اجزایش یعنی پروتون و نوترون تجزیه کرد بلکه پیونهای زیادی پدید آورند که چون

[۱۴] Brookhaven

ناپایدار بودند به موئون و نوترینو واپاشیده می شد نظر به این که پیون ها هنگام حرکت با انرژی زیاد واپاشیده می شوند حاصل این واپاشیده موئون ها و نوترون ها در انرژی اولیه هستند.

همه این ذرات در جهت اولیه حرکت پروتون ها که از شتاب دهنده بیرون می آیند جریان دارند برای از صافی گذراندن همه ذرات مگر نوترینو مانعی آهنین به ضخامت ۱۳ متر که از اوراق بدنه کشتی های جنگ جهانی دوم تهیه شده بود در مسیر پرتو نصب شد. این مانع آهنی از عبور پروتون ها، نوترون های حاصل از هسته و پیون هایی که واپاشیده بودند و دیگر ذراتی که به علت بمباران با پروتون ها تولید شده بودند جلوگیری کرد و تنها از عبور نوترینوها نتوانست جلوگیری کند.

نتیجه این آزمایش کشف نخستین پرتو پژوهی نوترینوهای پر انرژی و پر شدت دنیا بود. پشت منبع آهنی یک اتاقک ردیابی جرقه ساخته شده تا بتواند برخوردهای بسیار کمیاب نوترینو را ردیابی کند با آنکه تعداد نوترینوها خیلی کم بود ولی وفور وجود نوترینوها با همان احتمال کم برخورد توانستند کسر کوچکی از این نوترینوها را ردیابی کنند.

نکته اینجا بود که نوترینوها پائولی طی یک واپاشی رادیواکتیو همراه با یک الکترون زاده می شود معنای چنین رفتاری این است که نوترینو پائولی هنگام برخورد باید بتواند الکترون تولید کند.

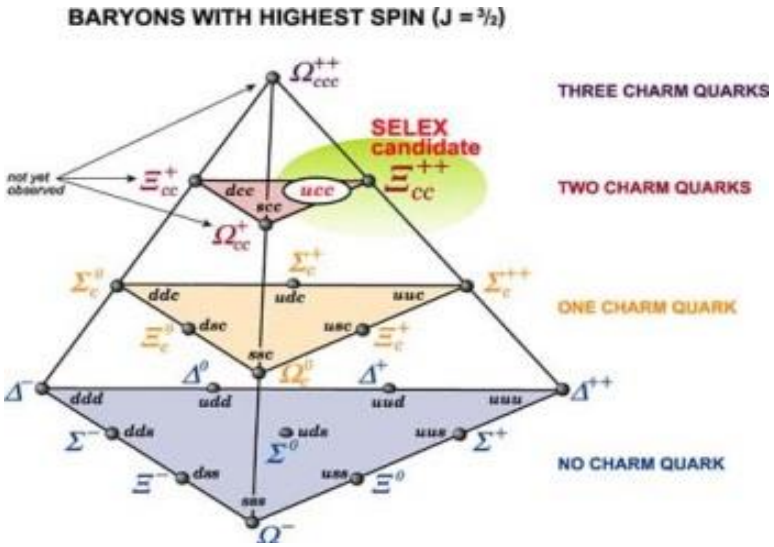
ولی معنای واپاشی پیون به یک موئون و یک نوترینو این است که نوترینو در برخورد هایش بایستی بتواند موئون تولید کند.

موضوع این بود که آیا این دو نوترینو یکسانند؟ اگر تنها یک نوترینو وجود داشته باشد در برخورد نوترینو یا اتم های آلومینیوم تعداد الکترون ها و موئونها باید بطور مساوی تولید شوند ولی بارها آزمایش حاکی از آن بود که فقط موئون تولید می شود پس لاجرم دو نوترینو نباید از یک جنس باشند. نوترینو هایی با طعم الکترون و نوترینو هایی هم با طعم موئون هستند واژه طعم به معنای جدی کلمه پیشنهاد نشده بود. وقتی یک نوترون به پروتون تبدیل می شود تنها چیزی که تغییر می کند طعم کوارک است. بنابراین، مفهوم طعم در آفرینش مدل استاندارد اهمیت زیادی پیدا کرد.

پس از اینکه متوجه شدند نوترینوها دارای طعم های مختلفی هستند کاری بسیاری ظریف و حساس بود ودر خور گرفتن جایزه نوبل.

۶-۲ شاهکار موری گلمان

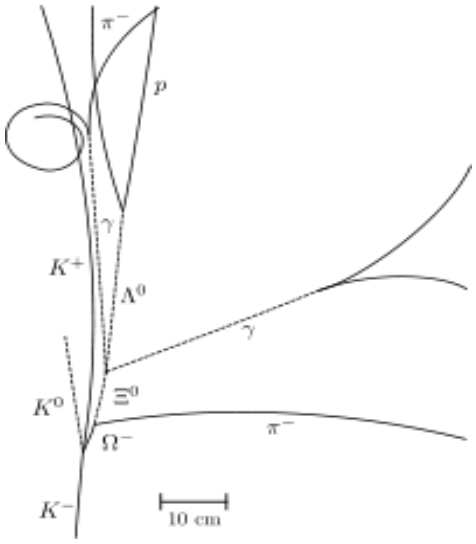
تا اوایل ۱۳۴۰ (ه.ش) تعداد ذراتی که با شتاب دهنده های ردیابی و کشف شده بود به پیش از صد عدد می رسید از آنجا که همه آنها محصول نیروی هسته ای قوی بودند به آنها هادرون به معنی قوی می گفتند. گلمان پیشنهاد داد که بسیاری از ذرات را می توان خانواده های ده تایی و یا هشت تایی تقسیم کرد گلمان می خواست نظمی را به این باغ وحش کشف شده بدهد. کلید سنجش فرضیه گلمان در این بود که ذره خاصی را با مشخصات خاص و جالبی که پیش بینی می کرد، کشف کنند. ذرات شناخته شده به نسبت مشخصات تقارنی شان به شکل هرم در می آمدند، در تصویر۶-۱ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱:

این ذرات از روی اعداد کوانتومی شان یا اسامی جالبی مانند (ایزوتوپ اسپین) یا ایزوسپین

وشگفت به شکل یک نمودار رسم شده اند تقارن از وجود ذره دهمی خبر می دهـد کـه آن را پیش پیش Ω^- نام نهادند پس اتاقک ابری به طول ۲۴/۵ متر وگنجـایش ۹۰۰ لیتـر هیـدروژن مایع تشکیل دادند در مسیر اشعه ای از (کائون) با بار منفی و هدف پیدا کردن Ω^- بـود. ایـن ذره از سه کوارک شگفت ساخته شده است (گاهی اوقات به جای یکـی از سـه کـوارک یـک کوارک افسون قرار می‌گیرد) جالب است بدانید این ذره جـزو گـروه بـاریون‌هـا دسـته بنـدی می‌گردد و با نیروی ضعیف برهم کنش دارد.



شکل ۶-۲:

۶-۳ فرضیه کوارک

گلمان، ذرات جدید را به صورت گروه های خانوادگی تنظیم کرد این نظم هادرون ها، برای بعضی از دانشمندان فیزیک امکان وجود زیر بنایی از ذرات پایه را پیشنهاد مـی کـرد. در سال ۱۹۶۹ گلمان یک ساختمان پایه ذرات پیشنهاد کرد، گروه سه تایی از ذرات پایه که با آنها تمامی هادرونها را می شد ساخت.

گلمان یاد آور شد که هریک باید یک سوم و یا دو سوم واحد بار الکترون مثبت یا منفی را داشته باشد به علاوه هریک باید یک سوم مشخصات یک پروتون با یک نوترون را داشته باشند.

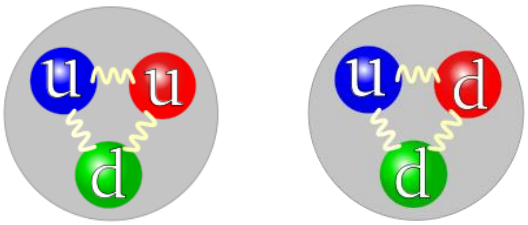
گلمان نام این سه ذره را کوارک یعنی مزخرف نام نهاد. پیشنهاد گلمان سادگی و نظم جدیدی را به ذرات شناخته شده داد.

همه هادرونهای شناخته شده از سه کوارک پایه ساخته می شدند سر انجام هریک از انواع کوارک ها با واژه طعم معروف شدند و اکنون سه طعم دیگر شناخته شده است. این سه طعم بار الکتریکی خاصی دارند.

جدول ۶-۱

نام کوارک	بار کوارک
Up بالا	$+\frac{2}{3}$
Down پایین	$-\frac{1}{3}$
Strange شگفت	$-\frac{1}{3}$

ماده هسته معروف به ماده بار یونی از سه کوارک ساخته شده برای پروتون دو کوارکup ویک کوارک down و برای نوترون دو کوارک down و یک کوارکup است.



شکل ۶-۳: از راست به چپ:نوترون-پروتون

همانطور که گفته شد Ω^- از کوارک شگفت ساخته شده است.

مزون که ذره حامل نیروی بستگی نوکلئونها بشمار می آید از یک جفت کوارک و ضد کوارک شکل گرفته است.

هادرون ها محصورند. همچنانکه قطب N و S آهنربا از هم جدا نمی شوند این گونه کوارک ها هم از هم جدا نمی شوند البته شایان ذکر است که در روند گسترش علم برای کوارک ها اشکال مختلفی را عنوان داشتند به عنوان مثال در نظریه ای مدل استاندارد برای بُعد دار کردن کوارک ها یک بعد به آنها منصوب کردند که به آنها ریسمان های یک بعدی می گفتند وذرات را حاصل از طنین ارتعاشات آنها می دانستند و عالم را چون سمفونی منظمی می دانستند گروه دیگری قائل به دو بعدی بودن کوارک ها شدند که به نظریه پوسته موسوم شد که کوارک ها را چون پوسته ای می دانستند که طنین ها در آنها به وجود می آمد، دکتر کامران وفا و دکتر حامد نیما ارکانی از جمله منادیان این نظریه در جهان فیزیک هستند.

۶-۴ کشف باررنگی

به هر حال نظریه کوارک با تجربیات آزمایشگاهی در حوزه ذرات با انرژی های بالا به اثبات رسید حتی در روند برخورد الکترون ها و پوزیترونها.

نخستین نتیجه موفقیت آمیز این مطالعات این بود که بار دیگر بینش ما را درباره کوارک ها روشن ساخت. ساده ترین روش آزمایش عبارت بود از این که تعداد باریون و مزون هایی که به طورمتوسط از این انحلال تولید می شدند شمرده شوند فرض می شد که آنها حاصل کوارک هایی هستند که به علت انحلال تولید شده اند.

در سال ۱۹۶۱این نتیجه حاصل شد که تعداد پیون های تولید شده سه برابر بیشتر از آنچه تئوری کوارک پیشگویی می کند. چگونه رخ داده بود؟

گلمان عدد کوانتومی جدیدی همانند بار الکتریکی اما وابسته به نیروی قوی پیشنهاد کرد این بار جدید، سه حالت احتیاج داشت در حالیکه تنها دو حالت دارد برای این دو حالت علامت های مثبت و منفی بکار برده می شود گلمان برای تشخیص دادن این سه حالت از

تعبیری به نام رنگ استفاده کرد، هریک از این رنگ ها می توانند یک پیون در مسیر های متفاوتی در جریان برخورد تولید کنند این امر احتمال تولید پیون ها را سه برابر می کند.

مفهوم رنگ گلمان به زودی مورد پذیرش قرار گرفت چرا که بسیاری از مسائل را توجیه می کرد برای نمونه کوارک های تنها می توانند به شکل ($q\bar{q}$)مزون و یا (qqq) باریون ظاهر شوند چرا که اینها ترکیباتی است که باررنگی در آن خنثی می شود.

مفهوم رنگ تضاد ظاهری میان ساخت بار یون ها سه کوارکی و اصل انحصاری پائولی را توضیح می دهد. ترکیب کوارک (uud)پروتون لازم داشت دو فرمیون در یک حالت باشد که در مکانیک کوانتومی پذیرفتی نیست مگر آنکه دو کوارک بالا رنگ های متفاوت داشته باشند پس نیروی قوی بین کوارک ها از مشخصات رنگ است.

باریون **مزون**

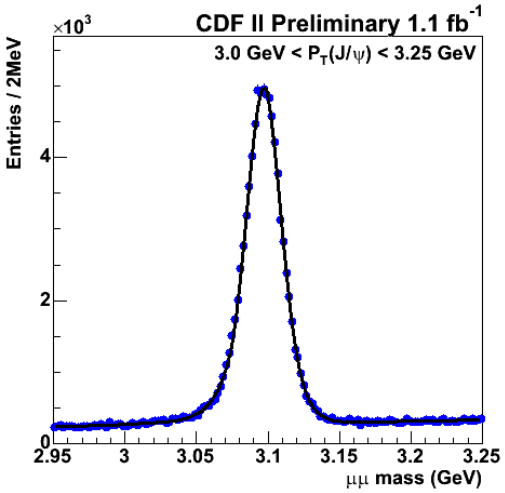
۶-۵ انقلاب نوامبر و رد پای فریبا:

ماشین های الکترون – پروتون به پیروزی دیگری نزدیک شد در یکی از برنامه ها، برخوردها میان فاصله انرژیGev ۲/۵تا Gev ۴شگفتی ایجاد کرده بود. دانشمندانی که به دقت نتایج را بررسی می کردند نسبت به پایبندی تئوری خود دچار وحشت و نگرانی شده بودند در زمانی که آزمایش ها و سنجش های خود را پیرامون Gev ۳/۱ تکرار می کردند و آن را در گام های Gev۰/۰۰۱انجام می گرفت تعداد برخورد ها میان ۳/۱و۳/۵۰۱ صد برابر افزایش پیدا کرد و سپس در Gev ۳/۱۲۰ به سرعت کاهش یافت این پدیده ذره جدیدی را به جرم Gev ۳/۱۰۵ را به روشنی معین می کرد.

باریکه قله ذرات شمرده شده جرم مشخصی را تعیین می کرد در مکانیک کوانتوم هر ذره جرم دقیقا معین شده ای دارد. عدم قطعیت همراه آن است که بستگی به طول عمر ذره دارد هر قدر طول عمر ذره بیشتر باشد، جرم آن با دقت بیشتری قابل تعیین است مثلا ذره Δ^{++} که حالتی از پیوند پیون و پروتون است 10^{-23} عمر دارد و عدم قطعیت جرم آن برابر دها Mev است، به طور کلی هر قدر جرم ذره بیشتر باشد حالت های مختلفی برای واپاشی دارد به همین علت عمر کوتاهی دارد.

ذره جدید وزنی به اندازه سه برابر پروتون داشت، می بایست طبق تعریف فوق عمر کوتاهی داشته باشد ولی بالعکس عمر بلندی داشت چه چیز سبب جلوگیری از واپاشی شده است این حالت با کوارکهای شناخته شده جواب داده نمی شد بلکه احتیاج به یک کوارکی جدید که نام آن را فریبا نهادند بود.

در آزمایشی دیگر ذره ای دیگر به نام J را مد نظر گرفت که مشخص شد که J/ψحالتی از پیوند یک کوارک فریبا با یک کوارک ضد فریبا هستند.



۶-۶ گلئونها و نیروی قوی:

نیروی قوی با برهم کنش از طریق مبادله بوزون ها ایجاد می شوند. ذره مبادله در بر هم کنش الکترو مغناطیس فوتون است، در تصویر قدیم یوکاوا تصور می شد که ذره مبادله

شده میان پروتون ها و نوترون ها مزون است اما بر پایه مدل کوارک پروتون ها و نوترون ها از کوارک ساخته شده اند که سخت به هم پیوند خورده انـد بنـابراین روشـن اسـت کـه نیـروی قدرتمندی این پیوند را ایجاد کرده است که به آن گلئون می گفتنـد. مـدل خـاص گلئـون از تئوری مدل استندارد برگرفته شد که بعدها در شتابدهنده کشف شد.

گلوئون و فوتون ها چند صفت مشترک دارند، اولا هر دو بوزون بودند با اسپین یک و هر دو بدون جرم، اما گلئون ها حامل بار قوی رنگ بودند. فوتون ها هیچ باری ندارند، گلئـون ها بر خلاف فوتون ها که در فاصله های دور هم تاثیر می گذارند و هر چه از مرکـز دور مـی شویم کم می شود، انرژی گلئون ها با دور شدن از مرکز افزایش می یابد به خاطر همین جدا کردن دو کوارک از هم انرژی بی نهایت می طلبد. بنابراین کوارک ها در کنار هم آزادند اما بـا دور شدن از هم مقید تر می شوند.

اما نکته ای در مورد نیروی ضعیف وجود دارد نیروی الکترو مغناطیسی با یک فوتـون جریان می یابد نیروی ضعیف به سه عامـل Z^0،W^-،W^+ و نیروی هسته ای قوی هشت گلئون احتیاج دارد.

شکل ۶-۴:پروفسورعبدالسلام

در نیروی ضعیف همانطور که عنوان شـد سـه ذره Z^0،W^-،W^+ کـه جـرم بـالایی دارنـد جریـان دارد، در صورتی که در نیروی الکترومغناطیسی از یک حامل فوتـون بدون جرم استفاده می شود بوزون ضعیف فقط یک فوتـون سنگین است در نیـروی ضـعیف دو نـوع جریـان بـاردار و جریان خنثی وجود دارد. نیروی باردار W^+،W^-،جریان خنثی با Z^0 مشخص می شوند که در سلسله آزمایش هـا نشان داده شده است گاهی اوقات برهم کنش ضعیف بدون انتقال هیچ گونه بـاری Z^0 انجـام می گیرد و گاهی نیز با وجود ذرات W^+،W^- است. عبدالسلام[۱۵] نشان داد که W^+،W^- و فوتون در یک خانواده قرار می گیرند پس وحدتی بین آنها برقرار است.

---

[۱۵]Mohammad Abdus Salam

در تئوری مکانیک کوانتومی در بحث عدم قطعیت عنوان می شود حالتی که فوتون ها انرژی از خلاء می گیرند (به این فوتون ها، فو تون های مجازی می گویند) در یک محدوده کوچکی از زمان اتفاق می افتد و به اصطلاح جرم دار می شوند و هر مقداری را هم می توانند بگیرند. این بحث در مورد نیروی الکترو ضعیف خود را نشان می دهد که چگونه فوتون بی جرم و Z^0،W^-،W^+ با که جرم های بالایی دارند از یک خانواده اند. به همین دلیل است که اثبات می شود که بوزون های Z^0،W^-،W^+ همان فوتون هایی هستند که جرم دار شده اند و انرژی شان به حدی است که می توانند تغییر طعم دهند. و به ذره ای دیگر تبدیل و ذرات را به حالت ناپایداری و نهایت تلاشی سوق دهند.

این پیشنهاد عبدالسلام راهگشای رویای دیرینه و وحدت نیروها را فراهم آورد و نام نیروهای هسته ای ضعیف و الکترومغناطیس به الکترو ضعیف تغییر کرد.

۷-۶ کشف کوارک:

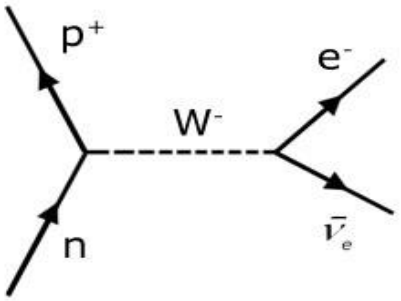
با تجهیز شتاب دهنده ها و تکمیل کردن شتابدهنده ها ی الکترونی در یک شتابدهنده خطی و برخورد دادن یک الکترون پر سرعت و پر شتاب با یک ذره پروتون متوجه شدند که الکترون به طریق خاصی پاشیده می شود و این پاشیدگی این ایده را برای ریچارد فاینمن به وجود آورد که وجود ذراتی در ساختار پروتون موجب این پاشیدگی می شود وی این ذرات را پاراتون نام نهاد. آزمایش های پراکندگی با الکترون نشان دادند که پاراتون ها ذرات اجزا تشکیل دهنده پروتون، مانند ذرات نقطوی عمل می کنند آزمایش های بعدی که در سرن[۱۶] انجام شد این نظریه را تایید کرد و عمل پراکندگی با موئون و نوترینوهای پر انرژی انجام گرفت و مشخص شد که کوارک ها وجود دارند فاینمن پاراتون را مرکب از کوارک ها و ذره ای دیگر می دانست که به مجموع آنها پاراتون اطلاق می کرد.

البته طبیعت نقطه ای کوارک ها بسیاری از مسائل کیهان شناسی را حل می کرد چرا که نقطوی و بدون حجم بودن چگونگی جمع آوری آنها در یک حجم بسیار کوچک مثل سیاهچاله ها آنچنانکه انفجار بزرگ لازم می دارد مجاز می داند.

---

[۱۶] CERN

محصور بودن یکی دیگر از مشخصات کوارک هاست. چون کوشش های بی شماری برای مشاهده کوارک های آزاد با یک سوم بار الکتریکی با ناکامی روبرو شد پس دانشمندان ایده محصور ماندن را ارائه دادند که براساس آن کوارک ها به طور دائم در داخل واپاشی رادیواکتیو یک نوترون مثالی از یک بر هم کنش ضعیف که با وابسته یک بوزون باردار انجام یافته است نوترون n بوزون w صادر می کند و به پروتون P تبدیل می شود w^-به یک الکترون و یک ضد نوترینو وا می پاشد.



۶-۸ مدل استاندارد:

رده بندی ذرات را به صورتی ویژه که در حال حاضر برای توصیف ذرات بنیادی به کار می رود "مدل استاندارد" می گویند. مدل استاندارد نظریه ای است که فیزیک دانان به کمک آن چگونگی یکپارچه بودن جهان را تشریح می کنند. این مدل چگونگی بر هم کنش نیروی هسته ای قوی هسته ای ضعیف و الکترو مغناطیس را در تصویر یکپارچه توصیف می کند در این مدل سه دسته از ذرات وجود دارند لپتونها مانند الکترون کوارک ها ذرات تشکیل دهنده نوترون ها و پروتون ها و حاملان نیرو. بر اساس این نظریه نشان داده می شود که چگونه ذرات بنیادی توسط چهار نیروی اصلی کنترل می شوند در این مدل همه ذرات در ابتدا بدون جرم هستند و با شکست خود به خودی تقارن تحت تاثیر میدان ذره ای دیگری به نام هیگز جرم دار می شوند بسیاری از منابع فیزیک تعداد این ذرات بسیاری در مدل استاندارد را به شکل دقیق تر و جزئی به ۶۱ ذره تقسیم بندی می کنند ۱۲ لپتون و۳۶ کوارک و آنتی کوارک، دوازده ذره واسط و هیگز.

۶-۸-۱ خانواده لپتون ها

الکترون ها و پوزیترون ها در یک «خانواده» جداگانه از ذرات قرار دارند که بـه عنـوان لپتون ها شناخته می شوند دانشمندان لپتون ها را به دو گروه ذراتی کـه بـارالکتریکی دارنـد و ذراتی که نوترینو نامیده میشوند و بارالکتریکی شان خنثی یا صفر است تقسیم میکنند. هر سـه نسل شامل یک لپتون باردار و یک نوترینو هستند.جدول۶-۲ خانواده لپتون ها می باشـد.علاوه بر لپتون ها ۶ پاد لپتون نیز وجود دارد و در مجموع ۱۲ لپتون داریم.

نسل	نام	نماد	بار الکتریکی	پاد ذره
۱	الکترون	e	۱-	پوزیترون
	نوترینوی الکترون	ν_e	۰	پاد نوترینوی الکترونی
۲	موئون	μ	۱-	پاد موئون
	نوترینوی موئون	ν_μ	۰	پاد نوترینوی موئون
۳	تائو	τ	۱-	پاد تائو
	نوترینوی تائویی	ν_τ	۰	پاد نوترینوی تائویی

۶-۸-۲ کوارک ها

شش طعم برای خانواده کوارک ها وجود دارد و در سه نسل دسته بنـدی شـده اسـت برای هر کوارک ۳ رنگ وجود دارد. که علاوه بر کوارک ها نیز پاد کوارک ها هم هسـتند و در مجموع۳۶ نوع کوارک وجود دارد.

نسل	نام	نماد	بار الکتریکی	پاد ذره
۱	بالا	U	۲/۳	کوارک پاد بالا
	پایین	d	۱/۳-	کوارک پاد پایین
۲	شگفت	S	۱/۳-	کوارک پاد شگفت
	افسون	c	۲/۳	کوارک پاد افسون
۳	ته	B	۱/۳-	کوارک پاد ته
	سر	T	۲/۳	کوارک پاد سر

۶-۸-۳ گلوئون ها

گلوئون ها بار الکتریکی و جرم ندارند، ذره‌ای است که بین کوارکها مبادله می‌شود تا آنها را به هم پیوند دهد.گلوئون ها بار رنگی دارند، آنها حامل یک رنگ و یک پادرنگ هستند، رنگ و پادرنگ می توانند همدیگر را جذب کنند.

این ذرات نیروی قوی را حمل می کنند.

در مجموع ۸ گلئون داریم

۶-۸-۴ ذرات واسط

بوزون های Z^0, W^+, W^- که ذرات واسط نیروی هسته ای ضعیف می باشد. و فوتون γ که ذره واسط نیروی الکترومغناطیس می باشد.

۶-۸-۵ بوزون هیگز

بوزون هیگز، حلقه گمشده مدل استاندارد ذرات بنیادی بود این ذره در واقع عامل جرم دار شدن ذرات در مدل استاندارد است. پیش از اعلام رسمی مرکز پژوهش های اتمی اروپا سرن در آزمایشگاه مشاهده نشده بود. براساس نظریه مدل استاندارد میزان شدت بر هم کنش ذره بوزون هیگز با دیگر ذرات است که مشخص می کند هر ذره چقدر جرم داشته باشد برای مثال فوتون ها برهم کنش آنچنانی با بوزون های هیگز ندارند و به همین دلیل است که جرمی ندارند برعکس الکترون ها به علت بر هم کنش زیاد ذره هیگز جرم بیشتری دارند.

۶-۸-۵-۱ سازوکار هیگز

ذرات بنیادی از اجزای ریزی تشکیل نشده اند. شرح چگونگی سکون در این ذره ها به یکی از اصلی ترین مسائل در مورد منشا جرم است.اخیرا دانشمندان بیان نموده اند که جرم ذرات بنیادی از برهمکنش با میدان هیگز است.اما میدان هیگز چیست؟

میدان هیگز یک میدان کوانتومی است. خصوصیات این میدان بدین شرح است:

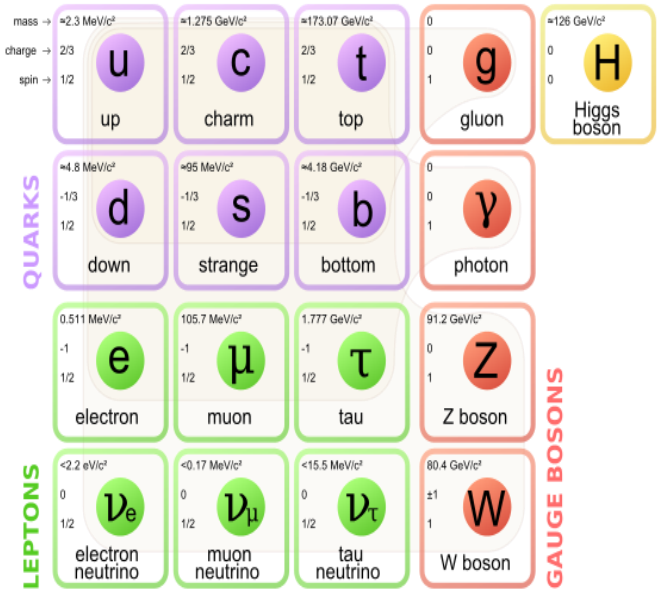
۱-تمام میدان ها خاصیتی به نام اسپین دارند بوزون هیگز(ذره میدان هیگز) اسپین صفر دارد. این خصوصیت میدان هیگز را قادر می سازد به شیوه متفاوتی نسبت به بقیه ذره ها در لاگرانژی ظاهر شود.

۲-قدرت این میدان در سرتاسر جهان غیر صفر است. هر سامانه ای از جمله جهان در پایین ترین سطح انرژی قرار می گیرد. در میدان معمولی همانند میدان الکترومغناطیس پایین ترین سطح انرژی آنجایی است که میدان مقدار صفر را دارد. جهان در حالت معمولی و در پایین سطح، آکنده از میدان هیگز غیر صفر است.

۳-برهم کنش میدان هیگز با ذرات دیگر، ذراتی که با میدان هیگز برهم کنش دارند، طوری رفتار می کنند که انگار جرم دارند و جرم آن ها متناسب با شدت میدان ضرب در شدت بر هم کنش است.

بنابراین بوزون هیگز ذره ای است که بوجود آورنده جرم در جهان است.

در نتیجه ماده از ۶۱ ذره بنیادی تشکیل شده است شکل۶-۵ مدل استاندارد ذرات بنیادی را است.



شکل ۶-۵: مدل استاندارد ذرات بنیادی

۶-۹ عملیات پروتون های شگفت انگیز:

کشف ذره اسرار آمیز هیگز بدون همکاری جامع بین المللی محقق نمی شد حدودا ده هزار دانشمند از ۳۰۰ دانشگاه و مرکز تحقیقاتی معتبر در سرتاسر جهان مستقیما در این

پروژه عظیم بین المللی همکاری داشته اند. هزینه ساخت آن هم مشترکا توسط کشور های عضو اتحادیه اروپا، ایالات متحده ، روسیه ، ژاپن، کانادا و چین و هندوستان و بسیاری از کشور های دیگر جهان تامین شده است.

طراحان و سازندگان ال اچ سی برای دست یابی به سطح انرژی چند میلیون ترلیون الکترون ولتی مورد نیاز برای آفرینش ذره هیگز چالش های زیادی را پشت سر گذاشتند.

۱–این شتابدهنده ها باید پروتون ها را به انرژی ۷ ترا الکترون ولت برسانند یعنی ۱۰ برابر میزان قبلی.

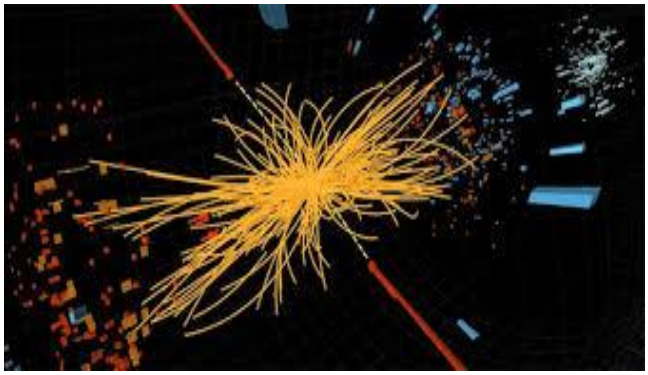
شکل ۶-۶: شتاب دهنده LHC

۲– برای این منظور تقریبا ۱۲۰۰ مغناطیس ابر رسانای ۱۵ متری که به هلیوم مایع نیاز است تا اولا دستگاه را سرد کند و ثانیاً پروتون های سنگین شده را به مسیر دایره ای خود باز کرداند.

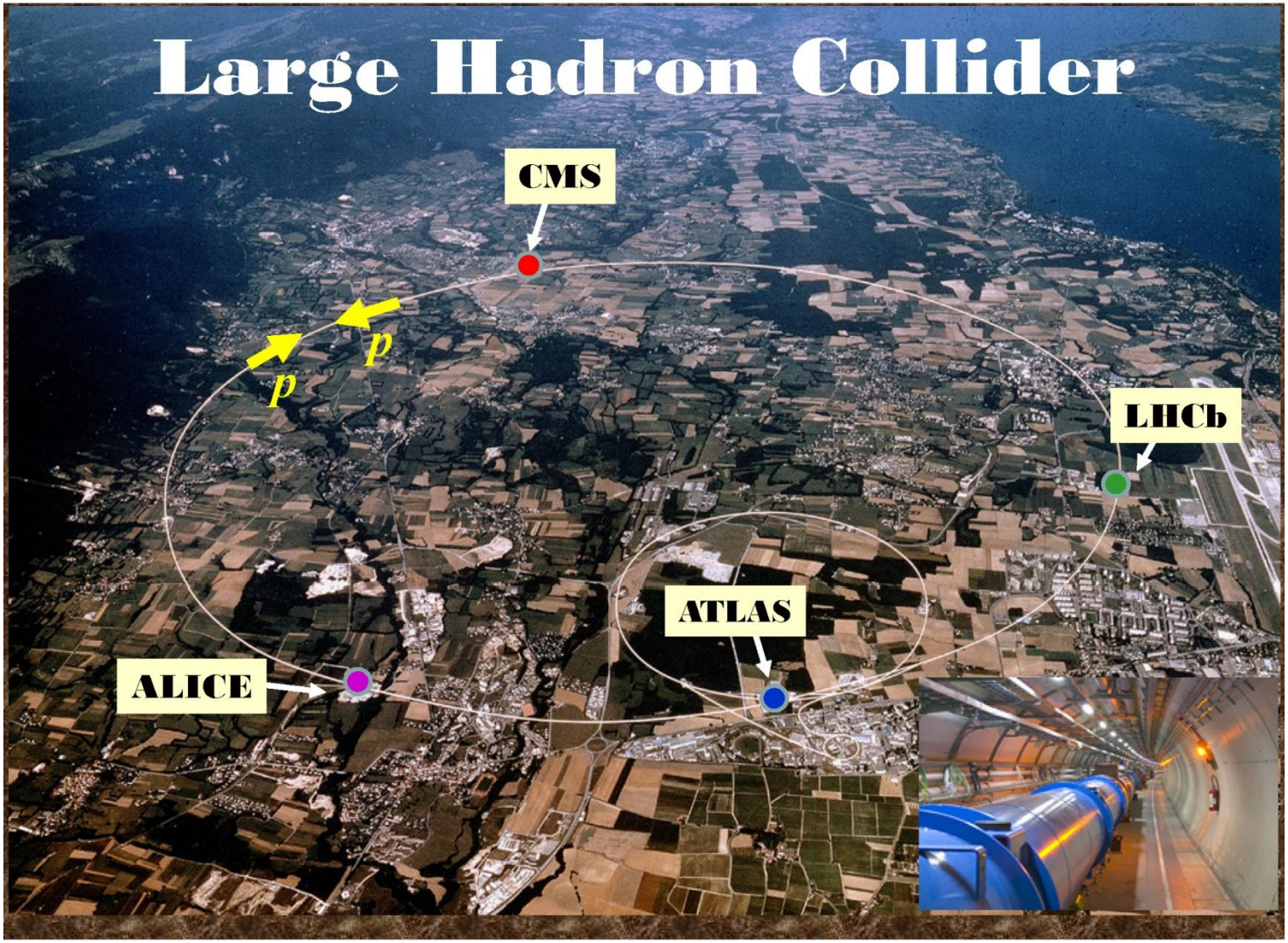
۳– باید بتواند باریکه ای ۴۰برابر پرقدرت تر از سایر شتاب دهنده های موجود ایجاد کند تا احتمال وقوع برخورد هایی که منجر به خلق هیگز شود را افزایش دهد چگونگی کار بدین صورت از یک باریکه ای از پروتون های غیر پیوسته ابتدا بوسیله شتابدهنده های خطی و سپس شتابدهنده های حلقوی کوچکتر به انرژی متوسط رسانده و در نهایت آنها را از دو جهت مقابل هم وارد مسیر حلقوی اصلی ال. اچ. سی می کنند. به این ترتیب دوباریکه پروتونی مجزا به دست خواهد آمد که یکی به طور ساعتگرد و دیگری پاد ساعتگرد در دو لوله مجزا در حال دور زدن مسیر حلقوی ۲۷ کیلو متری ال. اچ. سی هستند مسیر باریکه به گونه

ای طراحی شده است که یکدیگر را در ۴ نقطه مختلف قطع کنند. در آستانه هریک از این ۴ نقطه تقاطع جدا کننده های الکترومغناطیسی خاصی تعبیه شده اند تا پروتون ها را از مسیر اصلی منحرف کرده تا از کنار هم بگذرند.

در بخشی از مسیر های حلقوی ال. اچ .سی تعداد موجبر الکترومغناطیسی نصب شده است و پروتون ها در هر بار گردش به دور مسیر حلقوی مزبور، از میان این موجبر ها عبور می کنند تا سرعت بگیرند. و این عمل هر دور تکرار می شود تا اینکه انرژی به حد نهایی یعنی ۴ ترا الکترون ولت برسد.اینک پروتون های دو باریکه برای برخورد با یکدیگر آماده اند.



حالا طبیعی است که هرچه گروه ها فشرده تر باشند امکان برخورد اعضای آنها با همدیگر نیز بیشتر خواهد بود. پس از عدسی های مغناطیسی کانونی کننده استفاده می شود . تا برخورد ها را افزایش دهد از هر صد میلیارد پروتون تنها ۲۰ برخورد اتفاق می افتد. اما از آنجا که در هر ثانیه ۳۰ میلیون بار این باریکه ها از هم می گذرند پس تعداد برخورد ها تا ۶۰۰ میلیون در ثانیه می رسد.


Large Hadron Collider
CMS
p
p
LHCb
ATLAS
ALICE

۶-۱۰ نظریه ذرات بنیادی و کیهان شناسی

همان طور که قبلا ذکر کردیم ذرات بنیادی در اصل حروف الفبای جهان خلقت را تشکیل می دهند و مادر کاوش های خود از طبیعت که به منزله کلمات هستند این حروف و ترتیب قرار گرفتنشان و تعدادشان و خواصشان را استخراج کردیم حالا از این ذرات بنیادی در جهت رسیدن به جواب های علم استفاده می کنیم. و آن را در حوزه کیهان شناسی و بعد نجوم مورد ارزیابی قرار می دهیم.

ایده ذرات بنیادی به دنبال خود نظریاتی از قبیل نظریه وحدت بزرگ را به دنبال داشت که دانشمندان در پی آن بودند با استفاده از اصول نظریه ذرات بنیادی بتوانند فرمولی را ارائه دهند که این فرمول بتواند در همه شرایطی منشا همه نیروهای موجود در طبیعت را توضیح دهد و همه از یک واقعیت نشات گرفته باشند این نظریه نظریه ابر تقارن را به همراه داشت. نظریه وحدت بزرگ در طول سالیان متمادی اندیشه های فراوانی را به خود معطوف داشته است و اسرار زیادی از طبیعت را هویدا نموده است.

مثلا آلبرت اینشتین وحدت بین جرم و انرژی و فضا و زمان را مطرح کرد و غالب دو نظریه نسبیت خاص و نسبیت عام ارائه داد. در این وحدت تقارنی از نوع $sd_{(2)}$ برقرار است که بر اساس آن می توان در مواردی جای این دو پارامتر را باهم عوض کرد.

در نظریه استاندارد ذرات بنیادی بیان نمودیم که عبدالسلام ایده وحدت دو نیروی الکترومغناطیس و هسته ای ضعیف را مطرح کرد و اذعان داشت که ذره بوزون حامل هر یک از این نیروها، فوتون است اما فوتون در انرژی های بدون جرم، و در انرژی های پایین جرم دار ظاهر می شود خوب این هم از نوع تقارن $sd(2)$ است اما در فیزیک به دنبال تقارن بزرگتر هستیم تا بتواند نیروی هسته ای قوی و گرانش را نیز در برگیرد برای این منظور دانشمندان در کاوش های خود ایده ریسمان بودن کوارک ها را در نظر گرفتند که این نظریه گراویتون و هم هسته ای قوی را در بر می گرفت اما وجود ابعاد در حد ۲۶ بعد رقبت پذیرش آن را کم کرد.

به هر حال دلیلی با این ایده در انرژی های بالا امکان وحدت نیرو ها وجود دارد و این وحدت در زمانی وجود داشته که انرژی اولیه عالم فوق العاده بالابوده و آن را در بدو خلقت

است، که ابرتقارنی از نوع sd_4 بر جریان عالم حاکم بوده است که کل نیرو ها را و حدت می بخشیده و در اثر عاملی این تقارن شکسته شده و باعث شد که این نیرو هـا بصـورت مسـتقل پدید آیند.

فصـــل هفتم

انـــرژی هســـته ای

در متون قبل از ساختار اتم ها و هسته ها و اجزای تشکیل دهنـده آنهـا و تـا حـدودی درباره نظریه استاندارد ذرات بنیادی بحث کردیم و نتایج کیهان شناسی ماحصل از آن را مـورد ارزیابی قرار دادیم برای هدایت بحث به سوی اختر شناسی هسته ای ضروری به نظر می رسد که دامنه بحث را درمیدان انرژی حاصل از واکنش های هسته ای گسترش دهیم.

می دانیم در واکنش ها شیمیایی بعضی از واکنش ها گرمازا و برخی گرماگیرند مـثلاً تشکیل آب از دو عنصر هیدروژن و اکسیژن معمولا این واکنش با ایجاد گرمای قابل ملاحظـه ای صورت می گیرد لذا می توان نتیجه گرفت که انرژی آب حاصله از این واکـنش از انـرژی هریک از گازهای هیدروژن و اکسیژن کمتر است. و در واکنش برعکس آن یعنی الکترولیز آب مشاهده می شود که با اعمال انرژی الکتریکی به آب دو گـاز هیـدروژن و اکسـیژن جـدا مـی شوند.

به همین ترتیب در مورد واکنش های هسته ای هم با واکنش های گرمـا زا وگرمـاگیر همراه هستیم با این تفاوت که این حالت در مورد انرژی هسته ای بیشتر به صورت اختلاف در جرم های بین دو حالت قبل از واکنش و بعد از واکنش پی گیری می شود. چون بین انرژی و جرم تعادل بر قرار است آزاد شدن مقدار زیادی انرژی در یک واکنش هسـته ای بـا تغییـر در

جرم سکون کل هسته های درگیر در واکنش همراه است بنا براین معادلـه $E = mc^2$ نقـش مهمی در تفسیر واکنش های هسته ای ایفا می کند.

۷-۱ انرژی اتصال هسته ای

همان طور که می دانیم یک اتم از الکترون ها و هسته که خود متشکل از پروتون ها و نوترون ها می باشد تشکیل شده است اما این سوال مطرح می شود که آیا جرم یـک اتـم بـا جرم مجموع ذراتی که آن را تشکیل داده اند برابراست یاخیر؟

مثال: باتوجه به داده های زیر جرم هر کدام از ذرات تشکیل دهنده اتم دوتریوم را ${}_{1}H^{2}$ را حساب می کنیم.

جـرم سـکون یـک پروتون	۱/۰۰۷۲۷۶ amu
جرم سـکون یـک نوترون	۱/۰۰۸۶۶۵ amu
جـرم سـکون یـک الکترون	۰/۰۰۰۵۴۹ amu
۱)مجموع جرم سکون ذرات تشـکیل دنـده در حالت آزاد	۲/۰۱۶۴۹ amu
۲)جرم سکون اتم دوتریم	۲/۰۱۴۱۰۲ amu
تفاوت جرم(۱)و(۲) Δm	۰/۰۰۲۳۸۸ amu

همان طور که ملاحظه می شود به اندازه اختلاف جرم بین اتم مقید و حالت آزاد ذرات تفاوت جرم وجود دارد یعنی طبق معادله $E = mc^2$ انرژی به اتم داده شود تا از حالت تقید خارج شود. پس برای مقید شدن یک هسته و تشکیل اتم در مواردی انرژی از دست داده مـی شود به عبارتی این واکنش انرژی زا می باشد.

انرژی معادل یک واحد جرم اتمی:

$$1\ amu = 1/66 \times 10^{-27}$$

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 1/66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 = 14/9 \times 10^{-11} j$$

$$1\ Mev = 1/60 \times 10^{-12} \qquad \Delta E = \frac{14/9 \times 10^{-11}}{1/60 \times 10^{-12}}$$

$$= 931\ Mev$$

پس هر۱amu =۹۳۱ Mev می باشد بنابراین در فر آیند فوق مقدار انرژی مبادله شده برابر با ۲/۲۲Mev است یعنی اگر این ذرات را مقید کنیم حدود ۲/۲۲VeM انرژی از واکنش دریافت می شود که این نتیجه محاسباتی با نتایج تجربی برابری می کند.

واکنش زیر بمباران هیدروژن با نوترون است

$$_0n^1 + {}_1H^1 \rightarrow {}_1H^2 + \delta$$

در این واکنش هیچ گونه اجزای ذره ای که انرژی جنبشی زیادی داشته باشد ایجاد نمی شود بنابراین جرمی برابر ۰/۰۰۲۳۸۸ amu که تفاوت سبکتر شدن $_1H^2$ از $_0n^1+{}_1H^1$است به وسیله پرتو δربوده می شود انرژی این پرتو δ از طریق آزمایش Mev ۲/۲۲ بدست آمده است آزمایش معکوس آن:

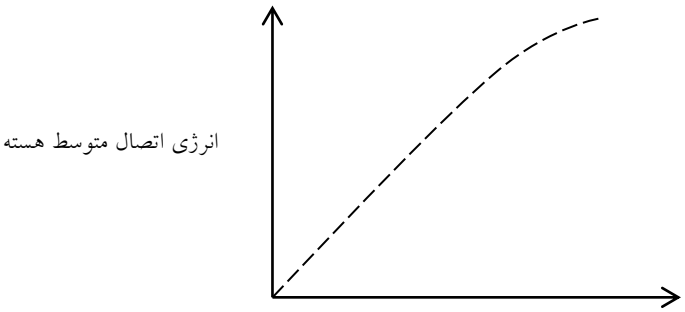
$$_1H^2 + \gamma = {}_1H^1 + {}_0n^1$$

اگرانرژی پرتو δ کمتر از Mev ۲/۲۲ باشد این واکنش صورت نمی گیرد. اما اگر پرتو δ با انرژی Mev ۲/۲۲ یا بیشتر به کار گرفته شود واکنش صورت گرفته یعنی پروتون و نوترون از هم جدا می شوند.

همین روش برای تمام هسته های دیگر قابل بررسی هست نه تنها هسته های عریان بلکه در باره خود اتم ها نیز قابل تعمیم است. مثلا اتم کربن-۱۲ را در نظر بگیرید. (شامل شش پروتون و الکترون)

جرم سکون شش پروتون	۶×۱/۰۰۷۸۲۵=۶/۰۴۶۹۵ amu
جرم سکون شش نوترون	۶×۱/۰۰۸۶۶۵=۶/۰۵۱۹۹ amu
جرم سکون کل	۱۲/۰۹۸۹۴
جرم سکون اتم کربن -۱۲	۱۲/۰۰۰۰۰
اختلاف جرم	۰/۰۹۸۹۴
انرژی مربوط به جرم سکون	۰/۰۹۸۹۴ amu×۹۳۱=۹۲/۱Mev

به همین طریق می توانیم انرژی اتصال هسته ای هر اتم پایدار حساب کنیم.



انرژی اتصال هسته ای به صورت تابعی از
عده ذرات موجود در هسته

شکل۷-۰-۱

همان طور که در نمودار(شکل ۷-۱) فوق نشان داده می شود انرژی اتصال هسته با اضافه شدن نوکلئونها افزایش می یابد. اما چنان که ملاحظه می کنید نتیجه آن یک خط مستقیم نیست. این گونه داده های تجربی، متضمن مفاهیم مهمی است.

اگر انرژی اتصال متوسط هر ذره را حساب کنیم این مفاهیم با وضوح بیشتری مشاهده می شود در مورد مثال کربن -۱۲ انرژی اتصال کل ۹۲/۱ مگا الکترون است چون ۱۲ ذره نوترون درون هسته وجود دارد. انرژی اتصال متوسط به انرژی هر ذره عبارت خواهد بود از ۲/۱ Mev/12که برابر ۷/۶۸ است. در نمودار ۷-۱مقادیر متوسط انرژی اتصال به ازای هر ذره مگا الکترون ولت در مقابل عده ذرات هسته عدد جرمی A ترسیم شده است. اهمیت این نمودار در شکل جالب آن نهفته است.

توجه داشته باشید که انرژی اتصال به ازای هر ذره با مقدار کمی که مربوط به تریوم آغاز می شود و سپس به سرعت فزونی می یابد بعضی از هسته های اوایل منحنی مثل

در مقایسه با هسته ها ی مجاور خود مقادیر اسننایی زیادی دارند -^{16}O-$^{12}C_2$ He^4برای جدا کردن یک ذره از یکی از این عناصرانرژی زیادی را باید صرف نمود. شواهد نیز به نفع این استنتاج وجود دارد مثل ذره αآلفا که از هسته هلیوم است که در واکنش

رادیواکتیو جدا می شود که نشان از پایداری این هسته است همان طور که ملاحظه مـی شـود انرژی لازم جهت جدا نمودن یک ذره از آهن یا مس بسیار مشکل تر از جدا کردن یـک جـزء از اورانیوم می باشد. اولی حدود ۸/۷۵ انرژی لازم دارد و دومـی حـدود ۶۱/ ۷ مگـا الکتـرون ولت.

اکنون موضوع انرژی اتصال باید این مطلب را روشن کند که چرا جرم های اتمی وقتی به دقت اندازه گیری می شود مضاربی از جرم یک اتم هیدروژن نیستند. در صورتی کـه هسـته درست مجموعه هایی از پروتون ها و نوترون های مشابه اند نکته اینجاسـت کـه وقتـی ذرات مذکور برای ایجاد یک هسته با هم تر کیب می شوند جرم سکون کلی آنهـا بـه مقـدار معـادل انرژی اتصال کاهش یافته است و انرژی اتصال متوسط از نوکلوئید به نوکلوئید متفاوت است.

مثال دیگری از موازنه جرم – انرژی در واکنش های هسته ای

$$_1H^1 + _3Li^7 \rightarrow _2He^4 + _2He^4$$

از طرفی داریم:

جرم سکون اتم Li^7 ۷/۰۱۶۰۰۵ amu

جرم سکون اتم H^1 ۱/۰۰۷۸۲۵ amu

جرم سکون اتم He^4 ۴/۰۰۲۶۰۴ amu

مقدار انرژی را که باید در این واکنش آزاد شود می توان بـا بـه دسـت آوردن تفـاوت جرم سکون پیش و پس از وقوع واکنش هسته ای محاسبه کرد.

مقدار $\Delta m =$ ۰/۰۱۸۶۲۲amu که معادل ۱۷/۳ Mev انرژی است. این کسـر ۳/ Mev ۱۷ به صورت انرژی جنبشی دو ذره گسیل یافته αنمایان می شود . و توافقی بین محاسبات و تجربه بود.

پایستگی انرژی آشکارا این الزام را به وجود می آورد کـه وقتـی انـرژی اتصـال مـواد حاصل از انرژی اتصال مواد واکنش دهنده بیشتر است در واکنش انرژی آزاد می شود در غیـر این صورت برای پیشرفت واکنش انرژی لازم است و به عبـارت دیگـر وقتـی انـرژی اتصـال متوسط به ازای هر ذره ازمواد حاصل نسبت به نظیر آنها در مواد واکنش بیشتر باشد انرژی آزاد

می شود. بیان این مطلب از روی نمودار چنین است که وقتی مواد حاصل بر روی منحنی انرژی اتصال متوسط بالاتر از مواد واکنش دهنده قرار گرفته باشند انرژی آزاد می شود.

۲-۷ کشف شکاف هسته ای:

شکاف هسته ای هم، جزء فرآیند هایی است که کشفی تصادفی آن را به همراه داشت در زمانی که دختر و داماد کوری کشف کردند که در اثر بمباران توسط اشعه آلفا می توان رادیواکتیو دیگری را بدست آورد. فرمی به همراه تیمی پژوهشی به دنبال تحقیق علمی این مساله در سایر عناصر بودند مثلا با بمباران

$$_0n^1 + {}_{13}A^{27} \rightarrow {}_{13}Al^{28} + \gamma$$

حاصل $_{13}Al^{28}$ که یک عنصر رادیو اکتیو با نیم عمر ۲/۳ دقیقه ای این نوکلوئید با گسیل بتا تباهی می یابد و به سیلسیوم تبدیل می شود.

$$_{13}A^{28} \rightarrow {}_{14}Si^{28} + {}_{-1}e^0 + \bar{\nu}$$

بنابراین $_{14}Si^{28}$ تولید می شود که مقادیر A و Z برای آن، هریک، یک واحد بزرگتر از مقادیر نظیر آن در هسته اولیه بود این فرآیندها، این ایده به ذهن فرمی خطور می کند همان طور که با بمباران آلومنیوم به عنصری جلوتر در جدول مندلیف رفت خوب خوب است. آخرین عنصر یافت شده در جدول مندلیف را هم بمباران کند شاید بتواند عناصری جدیدتر کشف کند.

$$_0n^1 + {}_{92}U^{238} \rightarrow {}_{92}U^{239} + \gamma$$

$$_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}(\ ?\ )^{239} + {}_{-1}e^0 + \bar{\nu}$$

او همچنین پنداشت که ممکن است نوکلوئید جدیدی که با علامت $_{93}(\ ?\ )^{239}$ نشان داده شده است، به نوبه خود دچار تباهی β شود.

$$_{93}(\ ?\ )^{239} \rightarrow {}_{94}(\ ?\ )^{239} + {}_{-1}e^0 + \bar{\nu}$$

به این طریق ممکن بود دو عنصر جدید یکی با Z=۹۳ و دیگری Z= ۹۴ تولید شود اگر این واکنش ها واقعاً صورت می گرفت نتیجه آن تولید عنصر یا عناصر مصنوعی بود. در اثر بمباران ها ذراتی بدست آمد که فرمی تصور می کرد همان چیزی است که او پیش بینی کرده است اما شناسایی آنها به علت میزان کم آنها تا ۵ سال طول کشیده تا در نهایت دو شیمی

دان اثبات کردند با توجه به خواص این ذرات، این ذرات از ایزوتوپ های باریم $_{56}B^{139}$ و لانتان $_{57}La^{140}$ می باشد تولید نوکلئویدها Ba و La از اورانیوم، نوکلوئیدها با عدد اتمی ۹۲ و عدد جرمی ۲۴۰ مستلزم نوعی واکنش هسته ای ناشناخته بود که در جریان آن هسته سنگین به دو نیم شکافته می شود. چنین چیزی قبلا شناخته نشده بود. بنابراین نوترون، فروپاشی هسته اورانیوم به دو هسته تقریبا برابر را تحریک و تسریع می کند و بر مبنای این مقایسه که انرژی اتصال متوسط به ازای هر نوکلئون اورانیوم کمتر و انرژی اتصال متوسط به ازای هر نو کلئون در مواد حاصل بیشتر است پیشگویی کردند که اجزای حاصل باید انرژی جنبشی زیادی داشته باشد. این نتیجه گیری پس از چندی از طریق آزمایش معلوم شد. از طرف دیگر به وجود آمدن عناصر ماورای اورانیوم هم به اثبات رسید یعنی در اثربمباران اورانیوم گاهی اتفاق می افتد که گیراندازی نوترون و تولیدی عنصری ماورای اورانیوم محقق می شود و گاهی شکافت اتفاق می افتد.

پدیده شکافت هسته ای نظر فیزیکدانان جهان را به خود معطوف داشت که چگونه نوترون می تواند باعث تلاشی هسته اورانیوم به دور هسته دیگر شود و معلوم شد که چهل جفت هسته ممکن است در اثر این تلاش به وجود بیاید اما موضوع این بود که حاصل این تلاشی به غیر از دور هسته سبک تر یک نوترون هم بود

$$_0n^1+_{92}U^{235}\rightarrow_{56}Ba^{141}+_{36}Kr^{92}+3\ _0n^1$$

که $_{56}Ba^{141}$,$_{36}(Kr)^{92}$نوکلو ئیدهای طبیعی نبوده و پایدار نیستند آنها را رادیواکتیو بوده با گسیل βتباهی می یابند.

احتمال اینکه یک هسته بر اثر بمباران شکافته شود بستگی به انرژی نوترون ها ی بمباران کننده دارد در مورد نوکلوئید های $_{۹۲}U^{۲۳۵}$ و $_{۹۴}pu^{۲۳۹}$ انرژی نوترون های بمباران کننده هر چه باشد حتی $e\ V$ ۰/۰۱ یا کمتر از آن هم باشد شکافت صورت می گیرد. اما Th^{232}و U^{235}فقط وقتی شکافت صورت می گیرد که انرژی نوترون ها بمباران کننده Mev۱ یا بیشتر باشد انرژی آزاد شده در شکافت یک هسته در حدود Mev ۲۰۰ است این مقدار انرژی را یا از ریق مقایسه جرم های سکون مواد ترکیب شونده و مواد تولید شده یا از طریق منحنی انرژی

اتصال می توان حساب کرد انرژی آزاد شده در عمل شکافت ۲۰ برابر بیشتر از واکنش های هسته ای معمولی است و بیش از یک میلیون مرتبه بزرگتر از واکنش های شیمیایی می باشد.

در شرایط مناسب نوترون ها آزاد شده در عمل شکافت می تواند به نوبه خود موجب شکافت در اتم های مجاور خود شوند در این صورت فرآیندی که معروف به واکنش زنجیری است در یک نمونه اورانیوم صورت می گیرد. تر کیبی از رهایی انرژی بسیار زیاد در عمل شکافت و امکان واکنش زنجیری مبنایی است برای استفاده بزرگ – مقیاس از انرژی هسته ای.

۷–۳ شکافت هسته ای و رآکتور هسته ای

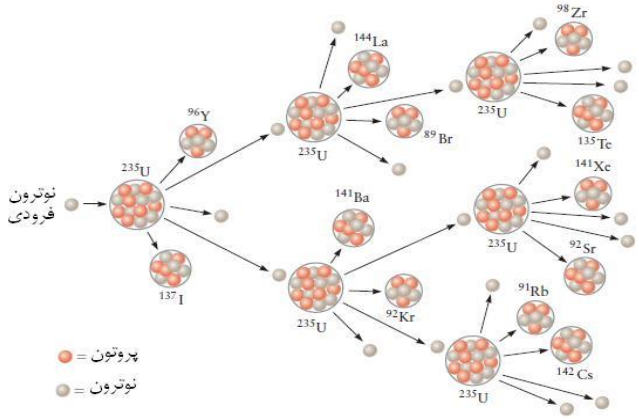
برای آنکه واکنش زنجیری در یک نمونه اورانیوم با سرعتی یکنواخت ادامه یابد باید توازن مناسبی بین تولید خالص نوترون های حاصل و عمل شکافت و از دست رفتن نوترون ها در جریان سه فرآیند زیر وجود داشته باشد:

۱.گیر افتادن نوترون ها به وسیله اورانیوم بدون حصول شکافت

۲. گیر افتادن نوترون ها به وسیله دیگر مواد موجود.

۳.فرار نوترون از نمونه بدون گیر افتادن

اگر نوترون ها بسیار زیادی بگریزند یا در دستگاه راکتور جذب شوند نوترون کافی باقی نمی ماند تا واکنش هسته ای ادامه یابد هر گاه نوترون های اندکی جذب شوند یا بگریزند در این صورت راکتور شروع به کار کردن کرده و واکنش های زنجیره ای ادامه می یابد طراحی راکتور های هسته ای که به عنوان منبع انرژی به کار می روند شامل یافتن اندازه ها شکل ها و مواد مناسبی است که توازن بین نوترون تولید شده و نوترون از دست رفته را حفظ و کنترل کند.



شکل ۷-۲

چون هسته فقط جزء ناچیزی از حجم یک اتم است شانس بر خورد یک نوترون با یک هسته اورانیوم اندک است یک نوترون در حالی که چند سانتی متر حرکت می کند می تواند از میان میلیون ها اتم اورانیوم بگذرد. هر گاه راکتور کوچک باشد حجم زیادی از نوترون ها از درون راکتور خارج می شوند نشت نوترون ها ممکن است آنقدر زیاد باشد که یک واکنش زنجیره ای نتواند اتفاق بیفتد. تعداد نوترون ها تولید شده همواره متناسب با حجم می باشد لیکن تعداد نوترون هایی که می گریزند متناسب با مساحت سطح است اگر اندازه خطی دستگاه زیاد شود حجم. مساحت به ترتیب متناسب با L^2 و L^3 فزونی می یابد به طوری که با بزرگ شدن اندازه تولید نوترون سریعتر از فرار نوترون افزایش می یابد. برای ترکیب معینی از مواد اندازه معینی برای راکتور وجود دارد که آن را اندازه بحرانی می گویند. اندازه بحرانی اندازه ای است که میزان تولید نوترون و میزان نشت آن با هم برابر است که اگر چنانچه راکتوری کوچکتر از آن باشد واکنش های زنجیره اتفاق نمی افتد.

طرح یک راکتور با ابعاد متناسب و مواد معین که با اندازه بحرانی مابقت داشته باشد بخش مهمی از تحقیق در زمینه مهندسی هسته ای است.

وقتی از اورانیوم $U^{۲۳۵}$ استفاده می شود باید نوترون های کُند جهت راکتور استفاده کرد ولی نوترنهایی که در شکافت بدست می آید نوترون هایی تند هستند پس از موادی به نام متعادل کننده در درون راکتور ها استفاده می شود، موادی هستند که در مواجه با نوترون انرژی نوترون را جذب و آن را مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند. که معمولا مورد استفاده نباید زیاد جاذب نوترون باشد .

معمولاً اگر بخواهیم از سوخت $U^{۲۳۸}$یعنی اورانیوم طبیعی استفاده کنیم برای اینکه جذب نوترون کمتر اتفاق بیافتد دو نتریوم و تر کیبات آن مثلاً آب سنگین استفاده می شود مزیت این راکتور نسبت به راکتورهای دیگر این است که در این راکتور لازم به غنی سازی اورانیوم نیست ولی هزینه تولید آی سنگین زیاد است.

در راکتورهای دیگر که از اورانیوم غنی شده یعنی اورانیوم U^{235}طبیعی استفاده می شود می توان برای کند کردن نوترون ها از آب معمولی نیز استفاده نمود که البته در این روش غنی سازی ایزوتوپ اورانیوم باید اعمال شود. ماده دیگری که تعدیل کننده نوترون می باشد

گرافیت یا کربن است که گر چه در بین تعدیل کننده های بالا جایگاه پایین تری دارد ولی بـه هر حال بعضی از راکتورها با این ترکیب ساخته می شود.

۴-۷ بمب هسته ای:

بمب هسته ای در واقع رآکتوری است که کنترل در آن وجود ندارد در بمب هسـته ای بر خلاف رآکتور که تعدیل در نوترون ها به وجود می آید و هدف ادامـه واکـنش زنجیـره ای است که نه شدت آن هم واکنش زنجیره ای مطرح است وهم آن پس بر خلاف رآکتور کـه از مجموع سه نوترون تولید شده یکی موجب شکافت می شود هر سه نوترون در واکنش شرکت کرده و چون خالص است انرژی در چند صدم ثانیه ایجاد می شود. در طول جنگ جهانی دوم از راکتور های هسته ای برای تولید مواد خام نوعی بمب هسته ای یعنی برای سـاختن $pu^{۲۳۹}$ از $U^{۲۳۵}$ استفاده می شد طراحی این نوع رآکتور ها به گونه ای بـود کـه بعضـی از نـوترون هـای حاصل از شکافت اتم های $U^{۲۳۵}$ کافی کند می شدند و موجب بروز شکافت در $U^{۲۳۸}$ نمی شدند در عوض نوترون های مذکور از طریق واکـنش هـایی بـه وسـیله $U^{۲۳۸}$ جـذب شـده و هسـته های $up^{۲۳۹}$ را تشکیل می دهند.

$$ {}_0n^1 + {}_{92}U^{238} \rightarrow {}_{92}Ba^{239} + \gamma $$
$$ {}_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}Pu^{239} + {}_{-1}e^0 + \bar{\nu} $$

$pu^{۲۳۹}$ شبیه $U^{۲۳۵}$ عمل می کند هر دو آنها می تواند یک واکـنش زنجیـره ای کنتـرل نشده سریع ایجاد کنند. بمب های هسته ای از هر دوی این مواد ساخته می شوند. بمب $U^{۲۳۵}$ در تاریخ شهر هیروشیما و بمب $up^{۲۳۹}$ شهر نازاکی را نابود کـرد و فجـایع جبـران ناپـذیری انسانی و طبیعی به وجود آورد.

شکل۷-۳

۷-۴-۱ مزایای انرژی هسته ای

خوب از از نظر صلح آمیز می توان از انرژی هسته ای در تولید انرژی جهت رسیدن به نیروی الکتریسته استفاده کرد و نیاز کشورها را از واردات سوخت های فسیلی و زغال سنگ مرتفع کرد و در مصارف دارویی هم اهمیت خاص دارند.

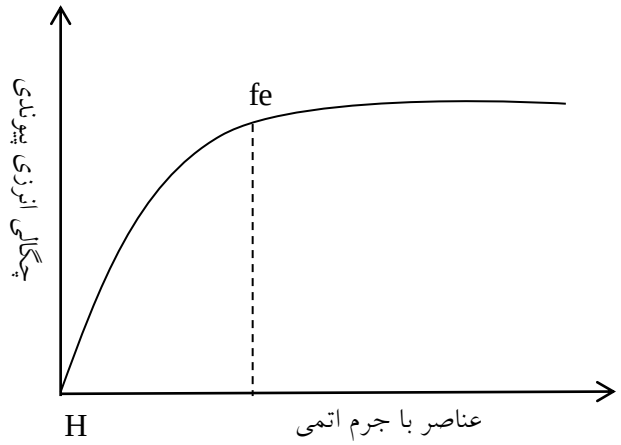
۷-۴-۲ مضرات تکنولوژی هسته ای

خوب در استفاده صلح آمیز نیز مواردی مورد توجه است گرمای تلف شده در این نیروگاه ها بالاست و موجب بالا رفتن دمای آب های اطراف راکتور شده و اثرات زیست محیطی بر جریان طبیعت وارد می کند.

زباله های ناشی از این نیرو گاه های خود مولد مواد رادیواکتیو هستند و محیط را به سوی آلودگی سوق می دهند از طرفی از جمله زباله های این راکتور ا پلوتونیوم است در بمب هسته ای نیز کاربرد دارد.

۵-۷ همجوشی هسته ای

واکنش همجوشی در آزمایشگاه از طریق بمباران مواد سبک مناسبی که به عنوان هدف قرار می گیرند یا مثلاً دوترون هایی پر انرژی که از یک شتاب دهنده ذره ای پرتاپ می شود تولید می گردد در این واکنش ها هسته هایی تولید می شوند که هم از هسته های پرتاپه ها و هم هسته های هدف سنگین تر هستند. البته در این واکنش ها تعدادی ذرات اضافی و مقداری انرژی هم تولید می شود.واکنش همجوشی با توجه به نمودار



در قسمت چپ نمودار پیدا می کند

$$_1H^2 + {}_1H^2 \rightarrow {}_1H^3 + {}_1H^1 + 4MeV$$
$$_1H^2 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^3 + {}_0n^1 + 3/2MeV$$
$$_1H^2 + {}_1H^3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1 + 17/6MeV$$
$$_1H^2 + {}_2He^3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1H^1 + 18/3MeV$$

در نخستین معادله هسته سنگین تری تولید شده ایزوتوپی از هیدروژن با عدد اتمی ۳ = A است که تریتیم نامیده می شود تریتیم که به مقدار ناچیز در بیعنت یافت می شود رادیو اکتیو و نیم عمر آن ۱۲سال است ترینیم پس از گسیل βبه $eH^{۳}{}_{۱}$که ایزو توپی از هلیوم است

تباهی می یابد. هر گاه هدفی شامل تریتیم با دوترون بمباران شود $_{1}eH^{4}$ تولیـد و انـرژی Mev ۱۷/۶ آزاد می شود که Mev ۱۴/۱ به صورت انرژی نوترون و Mev ۳/۵ بـه صـورت انـرژی جنبشی هسته تولید شده ظاهر می شود.

فصـــل هشتم

تولید انرژی در ستارگان

انرژی در خورشید و ستارگان دیگر چگونه تولید می شـود، معمـایی بـزرگ در ذهـن هانس بته[۱۷] نوجوان در دهه ۲۰ بود. هنگامی که سـر آتـور ادینگتـون[۱۸] در سـال ۱۹۱۱مقالـه طولانی خود درباره ستارگان را برای دانشنامه بریتانیکا[۱۹] نوشـت در آن تنهـا مـی توانسـت بـه رهایی انرژی در اثر انقباض اشاره کند. که به وضوح روشن است، برای تولید انرژی سـتارگان کافی نمی باشد. اما سال ۱۹۲۰ فرانسیس ویلیام آستون[۲۰] در آزمایشگاه نشان داد که جرم هلیوم کمی از جرم چهار اتم هیدروژن کم تر است.

اندازه گیری های جدید نشان می دهد، جرم ذره آلفا به میزان ۲۶مگا الکترون ولت از جرم چهار پروتون کم تر است یعنی حدودا ۷٪ .کمی بعد از کشف آستون، ادینگتون این ایده را پیشنهاد کرد که تبدیل هیدروژن به هلیوم می تواند چشمه انرژی خورشید باشـد و اسـتدلال کرد که اگر چنین باشد خورشید مدت درازی خواهد درخشید.

---

[۱۷] Hans Bethe

[۱۸] Arthur Stanley Eddington

[۱۹] Encyclopedia Britannica

[۲۰] Francis William Aston

در سال های دهه۱۹۲۰ هیچ کسی نمی دانست، آیا این فرآیند فرضی همجوشی، امکان پذیر است؟

در دهه بعد با ظهور مکانیک کوانتومی، کشف نوترون و پروتون فیزیک هسته ای به تکاپو افتاد. بخش اعظم پیشرفت دانش درباره هسته ها در کارهای هانس نهفته بود، از جمله چند مقاله که به دوستش رودولف پایرلز[۲۱] درباره پراکنده گی نوترون از پروتون و نیز دو نوترون نوشته بود. پیشرفت دیگر در کارهای ژورژگاموف[۲۲] بود که در باره پدیده تونل زنی اظهار نظر کرده بود.

۸-۱ خورشید چگونه می درخشد:

به دنبال اظهار نظری از کارل فون[۲۳] ، هانس تبه و چارلز کریچفیلد[۲۴] دانشجوی دکترای گاموف، با همکاری هم، آهنگ همجوشی دو پروتون و تشکیل دو نوترون به همراه گسیل پوزیترون و نوترینو محاسبه کنند.

آهنگی که آنها برای تولید انرژی در زنجیره هم جوشی p–p بر حسب دما بدست آوردند نسبتا دقیق بود اما برای دست یابی به دماهای واقعی، مدلی با تفضیل کافی برای ورود خورشید در اختیار نداشتند در نتیجه آهنگی که برای تولید انرژی به دست آوردند که با اندازه گیری درخشانی خورشید اصلا همخوانی نداشت.

با شرکت در همایشی در واشنگتن که گاموف در مارس ۱۹۳۸ (۱۳۱۷ ه.ش) سازمان داده بود یاس او از میان رفت در آنجا با تخمین های جدید دما های درونی خورشید آشنا شد که محاسباتش را به درخشانی خورشید نزدیکتر می کرد. با بهره بری از دانش هسته ای خود، هانس تمام واکنش هایی را که می تواند از هیدروژن به هلیوم برسد و با بررسی همه واکنش های گرمازا بین پروتون و ایزوتوپ های مختلف کربن و نیتروژن او پدید ه ای چرخه ای یافت اگر از $c_{۱۲}$ شروع کند کار با $O_{۱۶}$ تمام نمی شود بلکه عمدتا به نقطه آغاز یعنی $c_{۱۲}$ باز می گردید به اضافه هسته هلیوم مطلوب.

---

[21] Rudolf Ernst Peierls
[22] George Gamow
[23] Carl Friedrich von Weizsäcker
[24] Charles Critchfield

زنجیره p-p

$$H + H \rightarrow D + \beta + \nu$$
$$D + H \rightarrow He^3 + \gamma$$
$$^3He + ^3He \rightarrow ^4He + 2H + \gamma$$

هانس نه تنها آهنگ واکنش این چرخه، کربن- نیتروژن- اکسیژن برحسب دما بلکه نسبت فراوانی ایزوتوپ های مختلف را که کاتالیزگرهای میانی این چرخه هستند محاسبه کرد، او به درستی نتیجه گرفت که چرخه CNO و زنجیره p–p در دمایی حدود ۱۶ میلیون کلوین به یک میزان انرژی تولید
می کنند.

دورهCNO

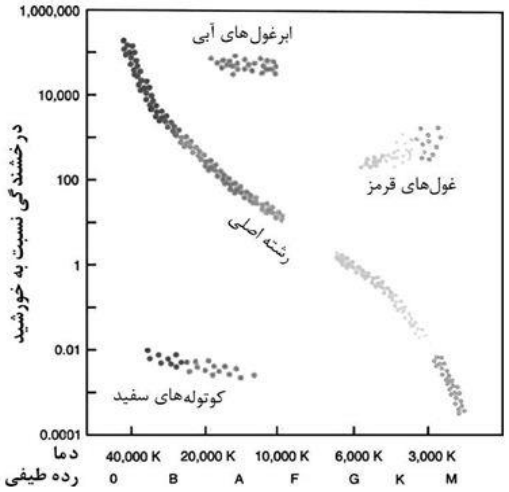
$$^{12}C + H \rightarrow ^{13}N + \gamma$$
$$^{13}N \rightarrow ^{13}C + \beta^+ + \nu$$
$$^{13}C + H \rightarrow ^{14}N + \gamma$$
$$^{14}N + H \rightarrow ^{15}O + \gamma$$
$$^{15}O \rightarrow ^{15}N + \beta + \nu$$
$$^{15}N + H \rightarrow ^{12}C + ^4He$$

در آن زمان می دانستند که در دنباله اصلی شیب تابع درخشندگی ستارگان سنگین تر از خورشید بر حسب دما، بیشتر از شیب تابع درخشندگی ستارگان سبک تر است فقط دو هفته طول کشید که هانس جزئیات نتایج مربوط به چرخه CNO را بدست آورد.

۲-۸ نمودار هرتسپرونگ–راسل

نمودار H-R یکی از ابزارهای مهم اخترفیزیکدانان در بررسی ستاره هاست این نمودار با وجود دوری ستارگان مشاهده بصری دو کمیت مهم فیزیکی یکی روشنایی آنها که بیشتر

اوقات بر حسب قدر بیان می شود و دیگری رنگ تشعشع ستارگان را منتشر می کننـد کـه بـا دمای سطحی آن نسبت مستقیم دارد، در اختیار می گذارد.



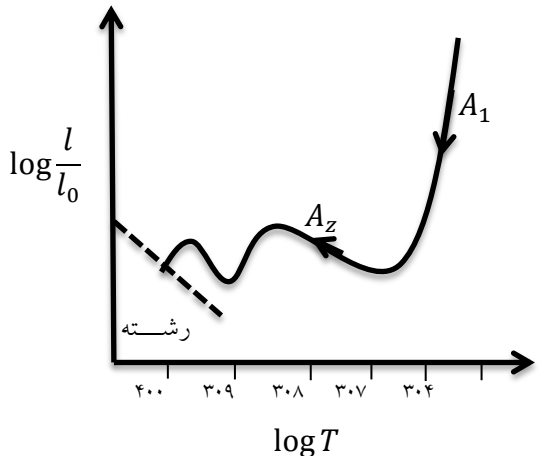
شکل ۸-۱: نمودار هرتسپرونگ-راسل

در سال ۱۹۱۱ (۱۲۹۰ ه.ش)هرتسـپرونگ و راسـل بـرای اسـتفاده از ایـن دو پـارامتر فیزیکی روش بسیار زیرکانه ای کشف کردند نمودارهایی که آنها رسم کردند نشـان از آن دارد که گویی با قوی ترین ابزار و توسط اختر فیزیکدانان متخصص ستارگان ترسیم شده است.

در نمودار تجربی هرتسپرونگ– راسل سه ناحیه اصلی مشـخص مـی شـود کـه در آن نواحی ستارگان قرار دارند رشته اصلی، منطقه غول ها و منطقه کوتوله ها. دمای سطح بر روی محور طول ها و روشنایی روی محور عرض ها می باشد. ۸۰./. ستارگان بر روی رشته اصـلی واقعند بقیه یا ستاره های بسیار درخشان و سردند در نتیجه با رنگ سرخ یا نزدیک بـه آن کـه توده های عظیم غول ها و ابر غول ها را تشکیل می دهند، یاسـتاره هـای خیلـی گـرم امـا بـا روشنایی کم، توده های عظیمی از کوتوله های سفید تشکیل می دهند. بنابراین در این نمـودار مناطق کاملا معینی وجود دارد که بیشتر ستارگان از نظر آماری در آن یافت می شوند این امـر نشان می دهد که در نواحی با چنین دما و نورانیت ستاره به کندی تحول پیدا می کند.

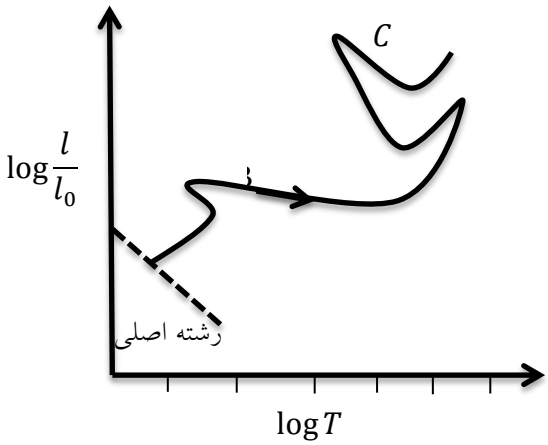
۸-۳ تحول ستاره ای

ما به شکل گیری خاص یک ستاره در محیط میان ستاره ای بسنده نخواهیم کـرد ایـن مساله هنوز حل نشده است تنها می دانیم که یک ستاره از پرت افتـادگی جـرم معینـی از گـاز میانسالی که تحت تاثیر نیروی گرانشی خاص خود منقبض می شود به دست می آید.



شکل ۸-۲

تحول ستاره ای که جرمش بیش از سه برابر جرم خورشید است به طرف رشته اصـلی ستاره ابتدا در دمای تقریبا ثابت منقبض می شود (مسیر A_1) سپس در روشنایی تقریبـا ثابـت (مسیر A_z) هنگامی که ستاره به رشته اصلی می رسد هیدروژن در مرکز ستاره شروع به تغییـر شکل دادن می کند و به هلیوم مبدل می شود.



شکل ۸-۳

تحول همان ستاره پس از گذشتن از رشته اصلی، دما زیاد می شود تا اینکه هلیوم در مرکز شروع به سوختن می کند(مسیر B) در این هنگام ستاره در منطقه غول های سرخ یافت می شود. مراحل تحول ستاره ای با پیابی بودن دوره هایی مشخص می شود که در آن دوره ها انرژی گرانشی یا انرژی هسته ای متناوب با سرچشمه اصلی انرژی است. در مدتی که هیدروژن می سوزد و به هلیوم تبدیل می شود. نقطه نمایشی ستاره بر روی نمودار H-R ثابت باقی می ماند در مدت این سوختن هسته ای خواص فیزیکی مرکز ستاره تقریبا تغییر نمی کند در این صورت ستاره بر روی رشته اصلی قرار می گیرد.

هنگامی که بخش بزرگی از هیدروژن در مرکز ستاره به هلیوم تبدیل می شود انرژی هسته ای برای جبران انرژی هایی که ستاره از دست داده است بسنده می شود مرکز ستاره برای آزاد ساختن انرژی گرانشی از نو منقبض می شوند در صورتی که لایه های خارجی که در آن هیدروژن مدام می سوزد به شکل ناگهانی منبسط می گردد ستاره شروع به بزرگ شدن می کند و روشنایی آن زیاد می شود نقطه نمایشی در شکل اول مسیرB را دنبال می کند و هنگامی که دما در مر کز به حد کافی دویست میلیون درجه برسد می ایستد تا اینکه هلیوم خودش را بسوزاند و به کربن و اکسیژن تبدیل شود. در نتیجه ستاره به شکل غول های سرخ در می آید سوختن هلیوم کمتر از سوختن هیدروزن وقت گیراست برای آزاد سازی توان معینی لازم است که در یک مدت معین تبدیل هلیوم به کربن خیلی بیشتر از تبدیل هیدروژن به هلیوم باشد این امر بر روی نمودار ه.ر یا کمبود نسبی تعداد غول ها در مقایسه با تعداد کوتوله ها ظاهر می شود.

هنگامی که تمام هلیوم در مرکز از بین رفته است سوختن آن در یک لایه میانی ادامه دارد. و انقباض گرانشی از نو قلب ستاره را می فشارد پدیده هایی با همان ترتیب ایجاد می شود سوختن کربن در هشتصد میلیون درجه و اکسیژن تقریبا در یک میلیارد درجه است در این صورت ستاره به یک ابرغول تبدیل می شود اگر انقباض های گرانشی پیاپی بتواند مرکز ستاره ای به دماهای سه تا پنج میلیارد درجه برساند. سیلسیوم که در آن هنگام پایدارترین عنصر است در معرض یک همجوشی تعادل قرار می گیرد و در نتیجه بخش بزرگی از آن به آهن تبدیل می شود.

کمیت فیزیکی بنیادی حاکم بر تحول ستارگان عبارت از جرم است جرم شاخص عمر ستاره است بدین معنی که هر اندازه جرم ستاره بیشتر باشد به همان اندازه انرژی گرانشی آزاد شده آن بیشتر است بنابراین واکنش گرما هسته ای خیلی سریعتر انجام می گیرد و عمر ستاره کوتاه می شود.

به هر حال مدل های بسیار ساده ای که قبل از همایش ۱۹۳۸ واشنگتن برای درون خورشید رایج بود دمایی برای مر کز خورشید به دست می داد که بیش از حد بزرگ بود. بر خلاف آن تخمین های غیر دقیق دمایی در مقاله بته- کریچفیلد محاسبه شده بود فقط ۲۰./.زیاد بود این اضافه تخمین تاثیر چندانی بر تولید انرژی از راه واکنش P–P نداشت اما برای چرخهCNO وضعیت متفاوت بود. بنابراین هانس به این نتیجه نادرست رسید که واکنش های CNO عامل اصلی درخشندگی خورشید است. اما نتیجه ای که برای ستارگان سنگین تر در دنباله اصلی به دست آورد با مشاهدات بسیار خوب سازگاربود. در مورد ستارگانی که از دنباله اصلی بیرون رفته بودند هانس از پیش می دانست غول های سرخ کاملا متفاوت هستند.

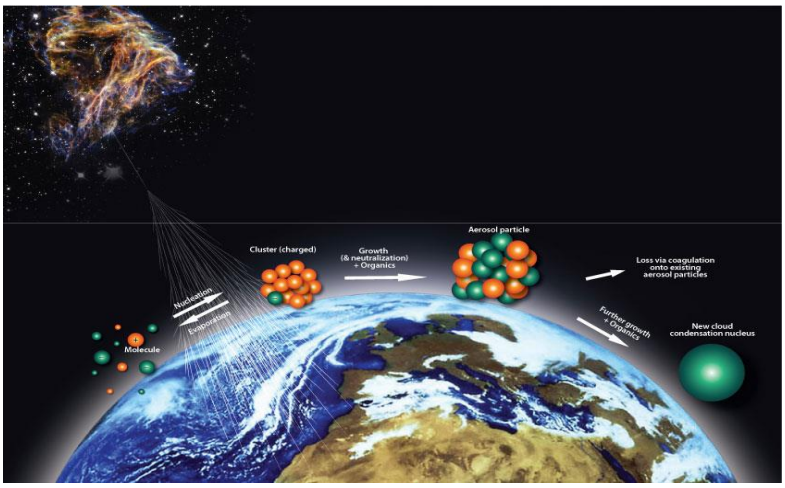
اما مساله ای که در پژوهش های هانس مطرح بود این بود که در واکنش های هسته ای نقش نوترینوها را پررنگ نشان نمی داد و گاهی بعضی از واکنش ها $He^3 + He^3$ را از قلم انداخته بود.

با کشف نوترون در سال۱۹۳۲ این تصور حاصل شد که اجزای اصلی ساختمان ماده سه ذره بنیادی است: پروتون –نوترون – الکترون به وجود ذرات جدیدی همچون نوترون ها و آنتی نوترون ها نیز می توان اشاره کرد. وقتی شتاب دهنده های انرژی – بالا ساخته شد ذرات بنیادی بیشتری یکی پس از دیگری کشف شد این ذرات بنابر خواص شان در چند خانواده گروه بندی شده اند غالب این ذرات فقط به عمر بسیار کوتاهی دارند. طول عمر آنها نوعا از مرتب $10^{-8}s$یا کمتر است یک رشته جدید کامل یعنی فیزیک انرژی بالا به وجود آمده است. امروزه هدف فیزیک انرژی-بالا تشخیص و تمیز مرتبه و ساختار سپس عده زیادی از ذرات بنیادی است.

فصـــل نهم

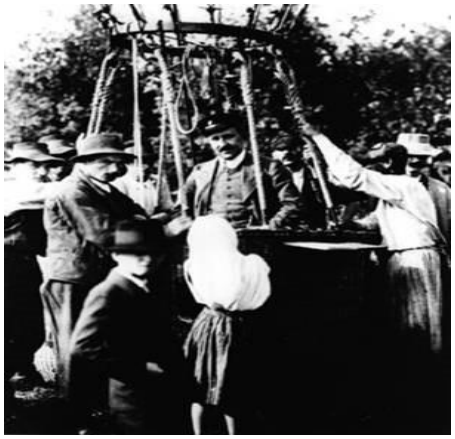
مروری بر فیزیک پرتوهای کیهانی

بعد از کشف رادیواکتیو توسط هنری بکرل در سال ۱۸۹۶ اعتقاد بر ایـن بـود کـه بـار الکتریکی جو زمین تنها به وسیله تابش عناصر رادیواکتیو روی زمـین یـا گازهـای رادیواکتیـو چون رادن تولید می شوند.



شکل ۹-۱

فردی به نام ویکتور هس[۲۵] در سال ۱۹۱۲ بالن بزرگی درست کرد و با آن به ارتفاع ۵۳۰۰ متری زمین بالا رفت، در حین این آزمایش متوجه شد هرچه بالن بیشتر بالا می رود تحت تابش بیشتری قرار می گیرد. وی متوجه شد یونیزاسیون در ارتفاع ۵۳۰۰ متری چهار برابر سطح زمین است. نتیجه او این بود که فرض این که یک تابش بسیار نفوذ کننده که از بالای جود وارد می شود اندازه گیری را بهتر توصیف می کند.

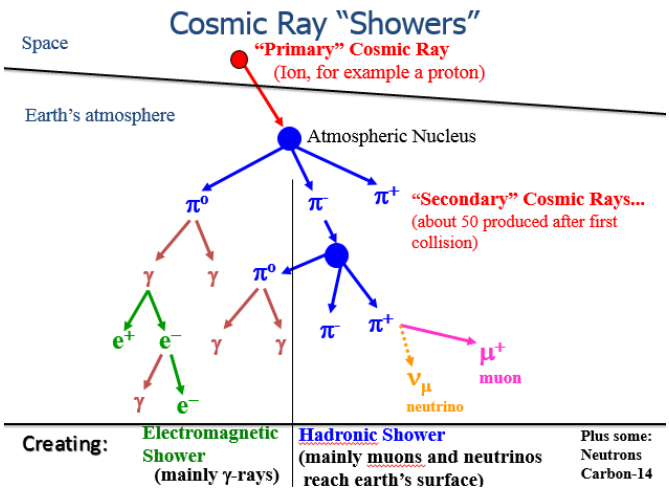


شکل ۹-۲: ویکتور هس، سوار بر بالن برای آزمایش

زمانی که پرتوهای کیهانی اولیه، از فضا به سمت زمین حرکت می کنند و به اتمسفر می رسند، با اتم های موجود در اتمسفر برخورد می کنند و واکنش هایی انجام می شود که ما را در هر لحظه تحت بمباران ذرات و موج الکترومغناطیسی قرار می دهند. به این پدیده، پدیده‌ی بارش[۲۶] می گویند. تحت پدیده‌ی بارش، پرتوهای آلفا (بارش الکترومغناطیسی) و ذرات پیون، میون و نوترینو (بارش هادرونیک) به سمت زمین حرکت می کنند.

[۲۵] Victor Francis Hess

[۲۶] Shower



شکل ۹-۳

اندازه گیری ورنر کلهورستر[۲۷] در سال ۱۹۱۳ نتیجه گیری هس را تایید می کـرد جـایزه نوبـل فیزیک ۱۹۳۶ (۱۳۱۵ه.ش) به خاطر کشف پرتوهای کیهانی به ویکتور هس تقدیم شد.

سالیان سال عموم مردم معتقد بودنـد کـه پرتوهـای کیهـانی فوتـون هـای پـر انـرژی (پرتوهای گاما) هستند که الکترون های ثانویه با پراکندگی کامپتون از پرتوهای گاما تولید مـی شوند.

طی دهه ۱۹۲۷ تا ۱۹۳۷ انـواع گسـترده ای از تحقیقـات آزمایشـگاهی نشـان داد کـه پرتوهای کیهانی اولیه تقریبا ذرات باردار مثبت هستند.

در سال ۱۹۴۸ گوتلیب[۲۸] و ون آلن[۲۹] پارمترهایی که با امولسین هسته ای سوار بر بـالن تا نزدیک قله جو انجام شد نشان داد که پرتوهای کیهانی اولیه تقریبا ذرات باردار مثبت هستند که معمولا پروتون ها همراه با هسته های هلیوم (ذرات) و کسر کوچکی از هسته های سنگین

---

[۲۷] Werner Kolhörster

[۲۸] Gottlieb

[۲۹] James Alfred Van Allen

ترند پیش از این در سال ۱۹۳۴ برونو روسی[۳۰] گزارشی منتشر کرده بود مبنی بر این که اگر دو شمارشگر گایگر مولر در یک سطح افقی جدا از هم قرار گیرند همزمان ثبت بین شمارش گرها رخ می دهد. ولی او مدت مطالعه این پدیده را ارائه نداده بود. از طرف دیگر پیر اوژه[۳۱] بی خبر از کار روسی هم این پدیده را مشاهده کرد و با جزئیات آن را بررسی نمود. او نتیجه گرفت آبشاری از ذرات گسترده از پرتوهای کیهانی اولیه پرانرژی تولید می شوند به این ترتیب که پرتوهای کیهانی اولیه، ابتدا با هسته های هوای هم کنش می کنند و یک بهمن از ذرات تولید می شود عمده ذرات بهمن شامل الکترون ها فوتون ها و میون ها هستند که به سطح زمین می رسند.

اندازه گیری انرژی و جهت ورود پرتوهای کیهانی اولیه فوق العاده پرانرژی، با تکنیک نمونه گیری چگال و زمان سنجی سریع از بهمن های هوایی گسترده در سال ۱۹۵۴ برای اولین بار توسط گروه پرتو کیهانی روسی در موسسه تکنولوژی ماساچوست[۳۲] انجام شد. از آن کار و آزمایش بسیار زیادی که در سراسر دنیا انجام گرفته است طیف انرژی پرتوهای کیهانی اولیه تا ورای به دست آمده است.

منشا پرتوهای کیهانی اجرام آسمانی خاص هستند که عبارتند از:

تپ اخترها یا ستاره های نوترونی چرخان

دوتایی های پرتو x

بقایای ابرنواخترها

ابرهای مولکولی داخل کهکشان

چشمه های پرتو گاما فرا کهکشانی (AGNها و کوازارها)

چشمه های پخشی

مشاهده این اجرام در انرژی های بالا نتایج مهمی برای کیهان شناسان به بار می آورد. ضمن این که بررسی خواص و جهت ورود پرتوهای کیهانی اولیه بسیار پر انرژی نتایج مهمی هم، برای فیزیک ذرات در بر دارد.

---

[۳۰] Bruno Benedetto Rossi

[۳۱] Pierre Auger

[۳۲] Massachusetts Institute of Technology

در نوامبر ۲۰۰۷ نتایج اولیه ای توسط آزمایش پیر اوژه اعلام شد که نشان مـی داد کـه جهت منشا ۲۷ رخداد خیلی پرانرژی قوی با مکان هسته های کهکشانی فعال (AGN) وابسته است.

۹-۱ چشمه های پرتوهای کیهانی و پرتوگاما

مانند اغلب پدیده های بیرون از منظومه شمسی تولید پرتوهای کیهانی به طور مستقیم، قابل مشاهده نیست طیف انرژی پرتوهای کیهانی در انرژی هـای بـیش از الکتـرون ولـت بـه صورتی تابعی توانی از انرژی به دست آمده به این معنی که تعـداد پرتوهـای کیهـانی در بـازه انرژی (E,E+De) که از واحد زاویه فضایی در واحد زمان به واحد سـطح در بیـرون از جـو زمین می رسند به صورت می باشد. در انرژی های کمتر طیف دیگر توانی نیسـت. براسـاس مشاهدات پرتوهای کیهانی نمای طیف در محدوده تا و در محدوده تا ، تخمین زده شـده است . فراتر از به نظر می رسد نمای طیف دوباره کاسته شود ولی داده های مشاهدات هنـوز برای تعیین دقیق آن کافی نیستند. علاوه بر طیف انرژی تخمین ترکیب جرمی پرتوهای کیهانی مشاهده شده سرنخ دیگری از منشا احتمالی پرتوهای کیهانی است.

علاوه بر طیف انرژی، تخمین ترکیب جرمی پرتوهـای کیهـانی مشـاهده شـده سـرنخ دیگری از منشا احتمالی پرتوهای کیهانی است.

از طیف انرژی و ترکیب جرمی پرتوهای کیهانی مـی تـوان حـدس زد کـه سرچشـمه اغلب آنان در درون کهکشان خودمان است.

جبهه ضربه ناشی از حرکت سریع پلاسما در ماده بین ستاره ای در پدیده هـایی ماننـد انفجار ابرنواختر ها، بادهای ستارگان، جت های ناشی از بر افزایش مـاده بـه سـامانه چرخـان (ستارگان دوتایی) از جمله مکان هایی هستند که امکان شتاب گرفتن ذرات باردار با «سازوکار فرمی» وجود دارد این سازوکار به همراه فرض های پذیرفتنی می تواند طیف انرژی و ترکیـب جرمی پرتوهای کیهانی در انرژی های کمتر را توجیه کند به نظر می رسد چشـمه هـای درون کهکشانی به دلیل محدودیت زمانی که در خود دارند نمی توانند ذرات را تا انرژی بالاتر شتاب دهند.

کهکشان های فعال مانند کوازار ها و چشمه های رادیویی نیز جت هایی دارند که با سازوکار فرمی می توانند ذرات را به انرژی های بالاتر برسانند.

گرچه هنوز مشاهدات کمی در اختیار است اما ناهمسانگردی پرتوهای کیهانی ناحیه پرانرژی طیف و همبستگی این ناهمسانگردی با خوشه های کهکشانی منشا برون کهکشانی آن را تایید می کند. از سوی دیگر در انرژی های کمتر از حدود ۱۰Gev به دلیل تاثیر بادهای خورشیدی و میدان مغناطیسی خورشید وزمین مشاده پرتوهای کیهانی که از بیرون منظومه شمسی سرچشمه گرفته اند میسر نیست. خورشید نیز با سازوکاری از قبیبل تباترون ذرات یا رادار انرژی۱۰۰Gev شتاب می دهد.

پرتوهای گاما به فوتون هایی با انرژی بیش از حدود۰/۵ mev گفته می شود. اندرکنش هایی از قبیل نابودی زوج ذرات، واپاشی پایون ناشی از برخورد پروتونهای پرانرژی اندرکنش کامپتون معکوس الکترون ها یا پروتون های پرانرژی با فوتون های کم انرژی محیط تابش قرمزی و تابش سینکروترون ذرات پرانرژی باعث تولید فوتون های گاما می شوند. این اندکنش ها فقط با حضور ذرات پرانرژی یعنی پرتوهای کیهانی رخ می دهند.پرتوهای کیهانی به دلیل تاثیر میدان مغناطیسی کهکشانی مسیر مستقیم از چشمه تا زمین را طی نمی کنند. فوتون های گاما که این محدودیت را ندارند به عنوان نشانه های وجود و شتاب گیری پرتوهای کیهانی و تعیین کننده ی مکان سرچشمه این پرتوها هستند به همین دلیل چشمه های جایگزیده ی پرتوگاما همان پدیده های شتاب دهنده ذرات هستند اندرکنش پرتوهای کیهانی سرگردان در فضای کهکشان با مواد بین ستاره ای نیز می تواند پرتوهای کیهانی ناجایگزیده را به وجود آورد. که توزیعی به گستردگی کهکشان دارد.

فصل دهم

پرتو های کیهانی پر انرژی و پروژه های دانشگاه های ایران

مطالعه‌ی پرتوهای کیهانی پرانرژی در سطح زمین، به روش‌های متفاوتی امکان‌پذیر است که متداول‌ترین آن‌ها استفاده از آرایه‌ی آشکارسازهای ذرات است. با کمک آرایه‌های پیشرفته می‌توان انرژی و جهتِ ذره‌یِ ایجاد کننده‌ی یک بهمن را با دقت خوبی محاسبه کرد. تا کنون چندین آرایه متشکل از ۴ آشکارساز در آزمایشگاه پرتوهای کیهانی راه‌اندازی و نتایج آن‌ها تحلیل شده‌است.

امروزه بخش قابل ملاحظه‌ای از بودجه‌ی تحقیقاتیِ جهان در حوزه فیزیک شتاب‌دهنده‌ها و پرتوهای کیهانی و حوزه های مرتبط با نجوم (نجوم پرتو گاما، نجوم رادیویی و تحقیقات مربوط به نوترینوها) صرف می‌شود. جدول ۱۰-۱ هزینه برخی از آزمایش‌ها مستقر بر سفینه‌های فضایی را که به منظور مطالعات نجومی طراحی و ساخته شده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۱۰-۱: هزینه برخی آزمایش ها

Kepler Mission	۵۲۰ میلیون دلار
James Webb Space Telescope	۴/۴ میلیارد دلار
Chandra X-ray Observatory	۱/۵ میلیارد دلار
Hubble Space Telescope	۱/۵ میلیارد دلار
Fermi Gamma-ray Space Telescope	۵۱۰ میلیون دلار

پرهزینه‌ترین آزمایش دنیا LHC، که در سرن مستقر است، بالغ بر ۹ میلیارد دلار هزینه داشته است. آزمایش‌های دیگری در حوزه پرتوهای کیهانی و نوترینوها طراحی و ساخته شده‌اند که هزینه‌هایی از مرتبه چند ده تا چند صد میلیارد دلار در برداشته است[۳۳].

دوره‌یِ نجوم اپتیکی با تلسکوپ‌های کوچک به سرآمده‌است. آزمایش‌هایِ کوچک و کم هزینه‌ی فیزیکی که یک تیم چند نفره قادر به انجام آن باشند، در حوزه فیزیکِ بنیادی (ذرات، اخترفیزیک و کیهان‌شناسی) معنای خود را از دست داده است. قرن بیست و یکم، قرنِ آزمایش‌های عظیم و پرهزینه است. تقریبا تمام کشورهایِ پیشرفته و تعداد قابل ملاحظه‌ای از کشورهای در حالِ توسعه با تخصیص بودجه‌های تحقیقاتیِ کلان، تلاش کرده‌اند سهمی در پیشرفت این حوزه از علم داشته باشند و به تبعِ آن از دستاوردهای آن بهره‌مند شوند. این آزمایش‌ها و تکنولوژی‌هایی که به واسطه‌ی آن‌ها و در کنارِ آن‌ها رشد می‌کنند، آینده‌ی علم و تکنولوژیِ جهان را رقم خواهند زد. متاسفانه کشور ما جایگاه واقعیِ خود را در این آزمایش‌ها و تحقیقات کسب نکرده است و از آنچه که در دنیا در حالِ رخ دادن می‌باشد فاصله دارد.

برنامه‌های پیگیری شده در آزمایشگاه پرتوهای کیهانی دانشکده فیزیک دانشگاه شریف تاکنون در راستای احداث یک رصدخانه پرتوهای کیهانی (رصدخانه البرز) بوده‌است. قرار بود این رصدخانه به آشکارسازی بهمن‌های گسترده هوایی از طریق آرایه‌ی آشکارسازهای ذرات بپردازد. احداث رصدخانه به دلایل مختلف تاکنون محقق نشده‌است، ولی فعالیت‌های گروه متوقف نشده‌است. قبل از پروژه‌ی حاضر، در این آزمایشگاه پایان‌نامه‌های مختلفی نگارش یافته است که هر کدام به نحوی به آشکارسازی ذرات و بهمن‌ها مرتبط بوده‌اند. تقریبا تمام انواع آشکارسازهای ذرات که در این حوزه کاربرد دارد در این آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گرفته‌است و نمونه‌هایی از آن‌ها ساخته شده‌است. علاوه بر این تا کنون چندین آرایه‌ی ۴ تایی در دوره‌های مختلف ساخته شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. کاری که تاکنون در این‌جا انجام گرفته‌است قابلِ مقایسه با آزمایش‌های بزرگ و پرهزینه‌ی بین‌المللی نیست و فاصله‌ی ما با کارهای تجربی که در این حوزه در دنیا انجام می‌شود بسیار زیاد است. اما با

---

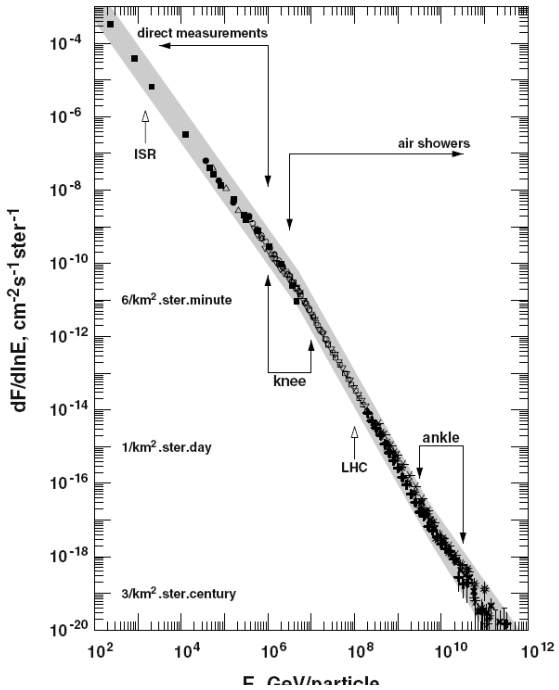
[۳۳] به عنوان مثال ICE-CUBE، ۲۷۲ میلیون دلار

توجه به امکانات موجود در داخل کشور و مشکلاتی که در پیش روی کارهای پژوهشی قرار دارد، بسیار ارزشمند و قابل توجه است. پروژه‌ی حاضر قرار نیست فاصله کارهای تجربی در داخل کشور را با آنچه در سطح بین‌المللی انجام می‌شود، پُر کند؛ اما به عنوان قدمی رو به جلوست و در صورت تحقق اهداف پروژه، به این معنا خواهد بود که توانِ کار با آرایه‌های بزرگ‌تر نیز وجود دارد و در صورت وجود امکانات و تأمین هزینه‌های مورد نیاز، امکان وارد شدن به رقابت‌های علمی در سطح بین‌المللی فراهم خواهد بود.

۱۰-۱ پرتوهای کیهانی و روش‌های آشکارسازی آن‌ها

پرتوهای کیهانی ذرات باردار پرانرژی‌اند که غالباً در خارج از منظومه شمسی تولید شده‌اند و از تمام جهت‌ها به طرف زمین سرازیر می‌شوند؛ مطالعه‌ی این پرتوها بخشی از علم نجوم و کیهان‌شناسیِ امروز را تشکیل می‌دهد. سؤالاتی مثل این‌که «منشاء پرتوها کجاست و از کجا می‌آیند؟»، «چگونه تولید شده‌اند؟» و «در بین راه و قبل از اینکه به ما برسند، چه اتفاقاتی برایشان رخ داده‌است؟»

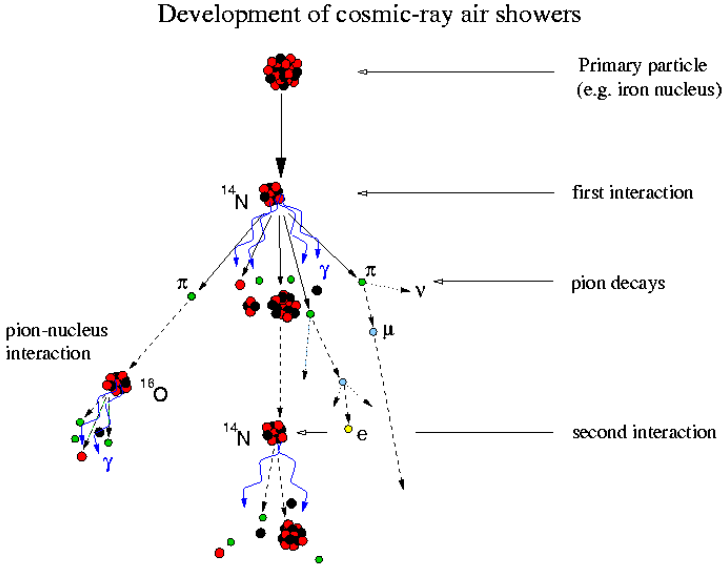
افق‌های جدیدی را برای شناخت بهتر و عمیق‌ترِ جهان، به روی ما می‌گشاید!



شکل ۱۰-۱

طیفِ انرژی پرتوهای کیهانی بسیار گسترده‌است و تا انرژی‌های بالاتر از $۱۰^{۲۰}$ الکترون‌ولت کشیده می‌شود (شکل۱۰-۱). شار این ذرات با افزایش انرژی با یک رابطه‌ی توانی ($E^{-\gamma}$ که γ از مرتبه ۲/۷ تا ۳ است) کاهش می‌یابد. در نتیجه مطالعه‌یِ آن‌ها در حوزه‌های مختلف انرژی به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. پرتوهای کیهانی کم‌انرژی و پرتوهای گاما را عمدتا توسط آشکارسازهایی که بر روی بالن‌ها یا سفینه‌های فضایی سوار کرده‌اند، مطالعه می‌کنند. اما امکان مطالعه پرتوهای پرانرژی به خاطر شار پایینِ آن‌ها، توسط ماهواره‌ها و بالن‌ها وجود ندارد. در انرژی‌هایی از مرتبه ۱۰۰ اگزا الکترون‌ولت، شار این ذرات به یک ذره در هر کیلومتر مربع در یک قرن می‌رسد. این پرتوها را به طور غیر مستقیم، توسط آشکارسازهای زمینی مطالعه می‌کنند. وقتی ذرات پرانرژی وارد جو زمین می‌شوند، در اثر برهم‌کنش‌های پیاپی با هسته‌های موجود در جو زمین، ذرات و تابش‌های ثانویه‌ای را به وجود می‌آورند. این ذرات ثانویه نیز در

اثر برهم‌کنش‌های بعدی ذرات بیشتری تولید می‌کنند. در نتیجه بهمنی از ذرات ایجاد می‌شود و تعداد ذرات تا جایی که انرژی ذره اولیه اجازه دهد افزایش پیدا می‌کند (شکل۱۰-۲)[۳۴]. در سطح زمین تعداد بسیار زیادی ذرات ثانویه خواهیم داشت که گاهی در مساحتی به وسعت چندین کیلومتر مربع گسترده می‌شوند.



شکل ۱۰-۲: تصویری از نحوه تشکیل یک بهمنِ گسترده‌ی هوایی در جو زمین

مطالعه‌ی ذرات یک بهمنِ هوایی از جنبه‌های مختلفی حائز اهمیت است. از طریق اطلاعاتی که ذرات ثانویه در اختیار ما قرار می‌دهند، می‌توان درباره ذره‌ی اولیه اطلاعاتی کسب کرد. از سویی بهمن‌های گسترده‌ی هوایی آزمایشگاه طبیعیِ ذرات بنیادی است که در آن می‌توان ذرات بسیار پرانرژی را که تولید آن‌ها در شتاب‌دهنده‌ها ناممکن است، مطالعه کرد؛ یا مدل‌هایِ تئوریِ مربوط به محاسبات سطحِ مقطع‌های پراکندگی را به محک تجربه زد. همچنین تاثیر پرتوها بر رویِ موجودات زنده، موضوع دیگری است که مورد توجه محققان بوده‌است.

---

[۳۴] به مجموعه ذراتی که از ابتدای ورودِ پرتو کیهانی به جو تا لحظه رسیدنِ آن‌ها به زمین تولید می‌شوند اصطلاحاً «بهمن گسترده‌ی هوایی» می‌گویند.

همان‌طور که گفته شد در خارج از جو زمین مطالعه‌ی پرتوهای کیهانی با ماهواره‌ها امکان‌پذیر است؛ اما ذرات پرانرژی‌تر که شار کمتری دارند باید به طور غیر مستقیم مطالعه شوند. اینجاست که جو زمین به یاری ما می‌آید و باعث می‌شود از یک ذره اولیه هزاران و گاه میلیون‌ها ذره‌یِ ثانویه تولید شود (یک بهمن هوایی ایجاد شود) و آشکارسازی ذرات را برای ما امکان‌پذیر سازد. آشکارسازی بهمن‌های گسترده‌ی هوایی به ۴ روش مختلف امکان پذیر است.

۱۰-۱-۱ آرایه‌ای از آشکارسازهایِ ذرات

در این روش تعداد زیادی آشکارساز ذرات (معمولا آشکارسازهای سوسوزن یا چرنکف) را با فاصله از هم در سطح زمین قرار می‌دهند و مجموعه‌ی این آشکارسازها را با کمک یک سیستم الکترونیک به هم مرتبط می‌کنند. هر کدام از این آشکارسازها بعضی از ذراتِ یک بهمن را آشکار می‌کنند و بعد با استفاده از روش‌های آماری و تکنیک‌های شبیه‌سازی مشخصات بهمن (از جمله جهت محور بهمن، تعداد ذرات بهمن و توزیعِ چگالیِ آن‌ها) را استخراج می‌کنند. با دانستنِ مشخصاتِ بهمن، با شبیه‌سازی‌های دیگری می‌توان درباره ذره‌ی اولیه ایجاد کننده‌ی بهمن اطلاعات کسب کرد.

متداول‌ترین روش آشکارسازی بهمن‌های هوایی از طریق آرایه‌های زمینی است. از نظر ابعاد معروف‌ترین آرایه‌ی زمینی در رصدخانه‌ی پیراوژه در کشور آرژانتین مستقر است که ۱۶۰۰ آشکارساز چرنکف را در مساحتی به وسعت ۱۵۰ کیلومتر مربع مستقر کرده‌اند. تا کنون آرایه‌های بسیاری در کشورهای مختلف بنا شده است مثلِ: کاسکاده-گرانده در آلمان، آگاسا در ژاپن، آیس ـ تاپ در قطب جنوب، ۲ آرایه‌ی بزرگِ تبت و آرگو یانگ باجینگ در چین، اوتی در هند و ...

۱۰-۱-۲ تلسکوپ‌های چرنکف

وقتی یک ذره‌ی باردار در محیطی غیر از خلاء (مثلا در هوا یا آب) سرعتی بیش از سرعت نور در آن محیط (c/n) داشته باشد، نور تابش می‌کند؛ این تابش را تابشِ چرنکف می‌نامند. ذراتِ بهمن‌های هوایی پرانرژی‌اند و در نتیجه هر بهمن

هوایی مخروطِ چرنکفی همراهِ خود دارد که در هنگام شب‌های تاریک با تلسکوپ‌های مخصوصی قابل مشاهده و ردیابی هستند. تلسکوپ‌های چرنکف نیز سابقه بسیاری داشته‌اند و اخیرا پروژه‌یِ بسیار بزرگی در دستِ طراحی است که در آن آرایه‌ای از تلسکوپ‌های چرنکف ایجاد خواهد شد[۳۵]؛ هدف اصلی این پروژه آشکارسازی پرتوهای گاما خواهد بود. تلسکوپ‌های چرنکف معروفی را می‌توان نام برد که در حال حاضر در حال داده‌گیری و رصد هستند. از آن جمله‌اند هس و مجیک.

۱۰-۱-۳ آشکارسازهای فلورسانس

بهمن‌های هوایی در مسیر حرکتشان در جو با مولکول‌های نیتروژن هوا برهم‌کنش می‌کنند و آن‌ها را برانگیخته می‌کنند. مولکول‌های نیتروژن نیز پس از زمان کوتاهی نوری را در فرکانس دیگری تابش می‌کنند؛ این فرآیند را «لومینسانس» یا «سوسوزنی» می‌گویند. از آنجایی که فرآیند مشابهی در لامپ‌های مهتابی نیز رخ می‌دهد و به آن‌ها لامپ فلورسانس می‌گویند؛ نور تابش شده از مولکول‌هایِ نیتروژنِ هوا را نورِ فلورسانس نامیده‌اند. تلسکوپ‌های خاصی نیز طراحی شده‌اند که بتوانند با دریافت نور فلورسانس مربوط به یک بهمن هوایی به مطالعه‌ی آن‌ها بپردازند. معروف‌ترین پروژه‌هایی که از این تکنیک برای ثبت بهمن‌های هوایی استفاده می‌کنند های‌رس[۳۶] و پیراوژه است.

۱۰-۱-۴ آشکارسازی امواج رادیویی (آرایه‌های رادیویی)

تلسکوپ‌های رادیویی برای مطالعه‌ی امواج رادیویی ساطع شده از اجرام نجومی پیش‌تر وجود داشته است. اما این تلسکوپ‌ها محدودیت فرکانس داشتند و برای آشکارسازی امواجی با فرکانس‌های پایین، به تلسکوپ‌های بسیار بزرگ نیاز

---

[۳۵] CTA: Cherenkov Telescope Array

[۳۶] Hires

بود. اما با پیشرفت‌های تکنولوژی و ابداع روش‌های جدیدتر، مطالعه امواج رادیویی با فرکانس‌های پایین نیز ممکن شده است.

در این روش جدید، (به تبعیت از آرایه‌های زمینی ثبت ذرات) از آرایه‌ای از آنتن‌ها استفاده می‌شود که هر کدام بخشی از طول موج تابش را ثبت می‌کنند و وقتی اطلاعات همه‌ی آنتن‌ها کنار یکدیگر قرار می‌گیرد، با کمک شبیه‌سازی و روش‌های محاسباتی، طول موج تابش، جهت تابش و سایر اطلاعات آن قابل حصول است.

نکته‌ی جالبی که وجود دارد این است که این روش کاربردهای متفاوتی دارد. از جمله کاربردهای هواشناسی (برای مطالعه یونسفر)، کاربرد مستقیم در کیهان‌شناسی رصدی و غیـره. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این روش مطالعه بهمن‌های گسترده‌ی هوایی است.

بهمن‌های گسترده‌ی هوایی که از ذرات باردار تشکیل شده است، موج الکترومغناطیسی تابش می‌کند که طول موج این تابش‌ها از مرتبه امواج رادیویی است. به این ترتیب می‌توان بهمن‌های گسترده‌ی هوایی را از روی امواجِ رادیویی خاصِ خودشان مطالعه کرد.

۱۰-۲ دستاوردهای گروهِ پرتوهای کیهانی

تبیین تمام فعالیت‌های انجام شده در گروهِ پرتوهای کیهانی از ابتدا تا کنون، در این مختصر امکان‌پذیر نیست. تنها به مهم‌ترین آن‌ها اشاره خواهد شد و به توضیح مختصر از هر یک اکتفا خواهیم کرد. فعالیت‌های گروهِ پرتوهای کیهانی در ایران با مطالعات بر روی امولسیون‌های هسته‌ای آغاز شد و به سرعت به طرف ساختِ آشکارسازهای مختلف سوق پیدا کرد. نمونه‌هایی از اتاقک جرقه و فلش‌تیوب ساخته‌شد که تصاویر برخی از آن‌ها را در شکل۳ مشاهده می‌کنید. هر کدام از کارها به آموزش دانشجویان و پایان‌نامه‌های آن‌ها منتهی شدند.

ساخت آرایه‌ای از آشکارسازهای سوسوزن کار دیگری بود که صورت گرفت. مطالعات گسترده‌ای برای بهینه‌سازی محفظه‌ی نوری آشکارسازها انجام شد و نمونه‌های متعددی ساخته شد. اولین آرایه با ۴ آشکارساز سوسوزن با ابعاد ۱×۱ مترمربع، ساخته‌شد (شکل۴ پایین سمت راست) و نتایج بسیار قابل توجهی به‌دست آمد که مقالات آن‌ها در

مجلات معتبر به چاپ رسید. نتایجِ حاصل از تحلیل داده‌های آرایه فوق علاوه بر تشویق‌های بین‌المللی منجر به کسبِ رتبه‌ی اول در نوزدهمین جشنواره‌ی بین‌المللیِ خوارزمی شد.

سوسوزن‌های پلاستیکی به کار رفته در آشکارسازها همگی از سرن وارد شده بود و در ایران برای ساختِ پلاستیک‌های سوسوزن کاری صورت نگرفته بود. برای بومی‌تر کردنِ رصدخانه، مطالعه بر روی آشکارسازهای چرنکف آغاز شد و با ساختِ نمونه و انجام آزمایش‌های اولیه نتایج مثبتی به دست آمد و منجر به ساختِ آرایه‌ای با ۴ آشکارساز چرنکف شد (شکل ۴، پایین سمتِ چپ). نمونه‌های به کار رفته در این آرایه‌ی ۴ تایی به شکلِ تانک‌های استوانه‌ای بودند که داخلِ آن‌ها از آب مقطر پر می‌شد و در وسطِ درِ بالایِ تانک یک تکثیرکننده‌ی نوری قرار می‌گرفت. مطالعات بر روی آشکارسازها ادامه یافت، آرایه‌ای متشکل از آشکارسازهای سوسوزن و چرنکف ایجاد شد تا میان نتایج و عملکرد این دو نوع آشکارساز مقایسه‌ای انجام شود. بعدتر بهینه‌سازی‌های دیگری نیز صورت گرفت. با استناد به شبیه‌سازی‌ها و ساخت نمونه‌های دیگر، ابعاد آشکارسازهای چرنکف تغییر کرد و نمونه‌ی بهینه‌شده در ابعاد کوچک‌تر ساخته شد. همچنین ابعاد آشکارساز سوسوزن نیز کوچک‌تر شد و با شبیه‌سازی‌ها و آزمایش‌های مختلف عملکرد آشکارساز مورد بررسی قرار گرفت.

یکی از کارهای مهم دیگری که انجام گرفت ساختِ تلسکوپ بزرگ پرتوهای کیهانی بود. پس از موفقیت نمونه‌ی کوچک‌تر طراحی نمونه بزرگ‌تر آغاز شد و به همت دانشجویان و همکاری بخش‌های مختلفِ دانشگاه نمونه اصلی ساخته‌شد و بر روی پشتِ بامِ دانشکده‌ی فیزیک قرار گرفت. تصویر این تلسکوپ را در شکل ۱۰-۳ مشاهده می‌کنید.

شکل ۱۰-۳: تلسکوپ بزرگ پرتوهای کیهانی

یکی از وظایف این تلسکوپ بررسی اثر خورشید بر روی پرتوهای کیهانی است. این تلسکوپ قادر است مسیر حرکت خورشید را در طول روز دنبال کند و شار پرتوهای کیهانی را که از طرف خورشید به زمین می‌رسند محاسبه نماید..

شکل ۱۰-۴: آزمایشگاه پرتو کیهانی دانشگاه صنعتی شریف

پیوست

اشعه آلفا

اشعه آلفا، ذراتی از جنس هلیم با ۲ بار مثبت است، که حاوی ۲پروتون و ۲ نوترون می‌باشد و با سرعتی حدود ۱۶۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه از اتم رادیو اکتیو خارج می‌شوند. بدلیل نسبت $\frac{q}{m}$کم، انحراف آنها کم است.

اشعه بتا

جریانی از الکترون است که با سرعتی نزدیک به 128000کیلومتر بر ثانیه سیر می‌کند. انحراف شدید این ذرات پر سرعت نتیجه‌ای از سبک بودن آنهاست

اشعه گاما

اشعه گاما مانند نور ماهیت الکترومانیتیک داشته و دارای طول موج بسیار کوتاه می‌باشد. این اشعه بدون بار الکتریکی، بسیار نافذ و مشابه اشعه X است.

اتاقک ابر ویلسون

نوعی محفظه برای آشکارسازی ذرات پرتوهای یونیزان است.

ایزوتوپ

ایزتووپ یک عنصر برابر تعداد پروتون های عنصر و تفاوت آن ها در تعداد نوترون ها می باشد

باریون

در فیزیک ماده، باریون‌ها گروهی است از ماده که شامل اجزای اتم(پروتون و نوترون) هم می‌باشد. این گروه از ماده، سنگین تر از دیگر گروه‌های دیگر ذرات هستند. ریشه واژه باریون به *باریس* که در یونانی به معنی سنگین است برمیگردد.

بوزون

در فیزیک ذرات بوزون‌ها ذرات زیر اتمی هستند که از آمار بوز-اینشتین تبعیت می‌کنند. بوزون‌ها بر اساس نام ساتیندرا بوز و آلبرت اینشتین نام گذاری شده‌اندر تئوری میدان کوانتوم نسبیتی ذرات با اسپین صحیح بوزون هستند.

بوزون هیگز

بوزون هیگز ذره ای است که بوجود آورنده جرم در جهان است

بهمن های گسترده هوایی

به مجموعه ذراتی که از ابتدای ورودِ پرتو کیهانی به جو تا لحظه رسیدنِ آن‌ها به زمین تولید می‌شوند اصطلاحاً «بهمن گسترده‌ی هوایی» می‌گویند

پرتوهای کیهانی

ذراتی هستند که در فضای خارج از اجرام آسمانی تولید شده و به جو این اجرام برخورد می‌کنند. در مورد کره زمین، این امواج در عبور از جو زمین و برخورد با ذرات اتمسفر به ذرات مختلفی مانند مزون‌ها و پوزیترون ها تبدیل می‌شوند.

تونل‌زنی کوانتومی

اشاره به فرایند کوانتومی تونل زنی ذره در طول یک سد -که از نظر کلاسیک ذره قادر به عبور از آن نیست- دارد. این اتفاق مهم در چندین پدیده فیزیکی دیده می شود

رادیواکتیو

به ذرات زیراتمی که از واپاشی تدریجی اتم‌های ناپایدار حاصل می‌شوند، پرتوهای رادیواکتیو می‌گویند

شتاب دهنده

دستگاهی است که در آن ذرّات باردار به وسیله ی میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی تا سرعت‌های بسیار زیادی شتاب‌داده می‌شوند. به طوری که سرعت بسیاری از آنها، حتی تا

نزدیکی‌های سرعت نور می‌رسد .انرژی جنبشی ذره در این حالت به این ترتیب، به اندازه چندین برابر انرژی در حال سکون آن می‌باشد

شکافت هسته ای

یعنی تبدیل اتم های سنگین به اتم های کوچکتر که همواره با آزاد نمودن مقدار زیادی انرژی همراه خواهد بود.

فلئورسانی

پدیده هایی هستند که در آن ها یک ماده خاص که به طور عام به آن فسفر گفته می شود پس از قرار گرفتن در مقابل نور مرئی یا غیر مرئی یا حرارت، تحریک شده و این انرژی را در خود ذخیره می کند و سپس آن را به صورت طیفی از امواج مرئی در طول مدت زمانی منتشر می کند

کوارک

کوارک یک ذره بنیادی و بخش اساسی سازنده‌ی ماده است. کوارک‌ها با هم ترکیب می‌شوند تا ذرات مرکبی به نام هادرون را به‌وجود آورند، پروتون و نوترون از معروف‌ترین آن‌ها هستند.

گلئون

گلوئون ها بار الکتریکی و جرم ندارند، ذره‌ای است که بین کوارکها مبادله می‌شود تا آنها را به هم پیوند دهد

عدد اتمی

به تعداد پروتون ها موجود در هسته عدد اتمی گفته می شود

عدد جرمی

به تعداد پروتون ها و تعداد نوترون ها عدد جرمی گفته می شود

مدل استاندارد ذرات بنیادی

رده بندی ذرات به صورتی خاص که اکنون برای توصیف ذرات بنیادی به کار می‌رود را مدل استاندارد می‌گویند. بر اساس **مدل استاندارد ذرات بنیادی** ماده از ۶۱ ذره تشکیل شده که این ذرات در سه دسته لپتون‌ها، کوارک‌ها و واسطه‌ها قرار می‌گیرند

مدل استاندارد برهمکنشهای قوی، الکترومغناطیسی و ضعیف بنیـادی را بـا بکـارگیری نظریه میدانهای کوانتومی بیان می کند

نوترینو

با باری خنثی و جرمی نزدیک به صفر، نوترینوها مرموزترین ذرات شناخته شده هستند که بسیار به ندرت با ماده عادی واکنش می‌دهند؛ در ضمن واپاشی بتای هسته های اتمی همراه با الکترون یا پوزیترون گسیل می شود.

نیمه عمر

مدت زمانی گویند که ماده پرتوزا به نصف مقـدار اولیـه ی خـود بـر اثـر واکنشـهای پرتوزایی تقلیل یابد

نیروی هسته ای ضعیف

نیروی هسته‌ای ضعیف و یا **کشش هسته‌ای قوی**، یکی از چهار نیروی پایه در فیزیک است که قبل از همه مسئول واپاشی بتا است که در آن یک نـوترون بـه یـک پروتـون و یـک الکترون و یک پادنوترینو تبدیل می‌شود.

نیروی هسته ای قوی

یکی از چهار نیروی پایه در فیزیـک اسـت، کـه نقـش آن پایـدار و بـاهم‌نگـه‌داشـتن، کوارک‌ها و ذرات تشکیل‌شده از آن‌ها (مانند نوترون‌ها و پروتون‌ها در هسته اتم‌هـا اسـت. بـه این معنی که *نیروی هسته‌ای* نیز نام‌گذاری مـی‌شـود. ایـن نیـرو بـه همـین خـاطر، از نیـروی الکترومغناطیسی بسیار قوی‌تر است و می‌تواند هسته اتم‌هـا را، بـا وجـود نیـروی دافعـه بـین پروتون‌های آن (با بار الکتریکی مثبت) پایدار نگه دارد.

همجوشی هسته ای

هسته‌های سبک مانند هیدروژن، دوتریوم و تریتیوم با یکدیگر همجوشـی داده شـده و هسته‌های سنگین‌تر و مقداری انرژی تولید می‌شود.

منابع

منابع فارسی

۱-فیزیک از آغاز تا امروز، حسین جوادی،افسانه جوادی،۱۳۸۶،انتشارات اتا

۲-آشنایی با فیزیک هسته ای جلد اول، کنت کرین، ابراهیم ابوکاظمی، منیژه رهبر،۱۳۸۹، مرکز نشر دانشگاهی

منابع انگلیسی

1-International Energy Annual, Comprehensive data from energy information adiminstration,U.S Department Of Energy.
2-World Energy outlook, 1998 Edition
3-L.R.Zumwalt, Report AECU-567 U.S.AEC, Division Of Technical Information
4-B.D Pate and L.yaffe, Can.J.Chem.3,265(1956)
5-B.P.Rayhurst and R.J.prestwood, Nucleonics.17,82
6-Comite Consultative pour Lestalons de Measureds Radiations Ionisates.
7-Introductory Nucleur Physics,Samuel.S.M.wong
8-Blatt, J.M and Weisskopf, V.f. Theorical Nuclear Physics Wiley,New york, 1952
9-Schiff, L.I. Quantum Mechanics , 3red, MCGrow-Hill, New york, 1968
10-L Astrophysique Nucleaire, Jean Audouse, Sylvie Vouclain