فصل پنجم

واکنش های هسته‌ای

1-5مقدمه

- بین **1919**، که **راترفورد** کشف تبدیل هسته‌ای مصنوعی

$$He^{4} + N^{14} \rightarrow H^{1} + O^{17} \qquad (1\text{-}5)$$

- را اعلام کرد و 1939، که **شکافت هسته** کشف شد (**هان و اشتراس‌من، متنر و فریش**)، تقریباً تمام فرآیندهای هسته‌ای شناخته شده که می‌توانست توسط انرژیهای بمبارانی تقریباً تا **10MeV** انجام گیرد، پیدا شده بود، (ناحیه **فیزیک هسته ای انرژی های کم**) ،از آن هنگام تاکنون، انرژیهای بمبارانی تقریباً به چند **10**BeV گسترش یافته، و انواع جدید بسیاری از واکنشها، به ویژه آنهایی که شامل مزونها و ذرات ناپایدار دیگرند، تولید شده‌اند. (**فیزیک هسته ای انرژی میانگین** و **فیزیک هسته ای انرژی بالا**). امروزه دیگر از انرژی های بسیار بالا و **فیزیک هسته ای برخورد یونهای سنگین** صحبت می شود و ساختار **کوارکی – گلوئونی** هسته مطرح است و فیزیک هسته ای تقریبا به **فیزیک ذرات بنیادی** نزدیکتر شده است . مطالب **این کتاب** در سطح **فیزیک هسته ای انرژی کم** است.

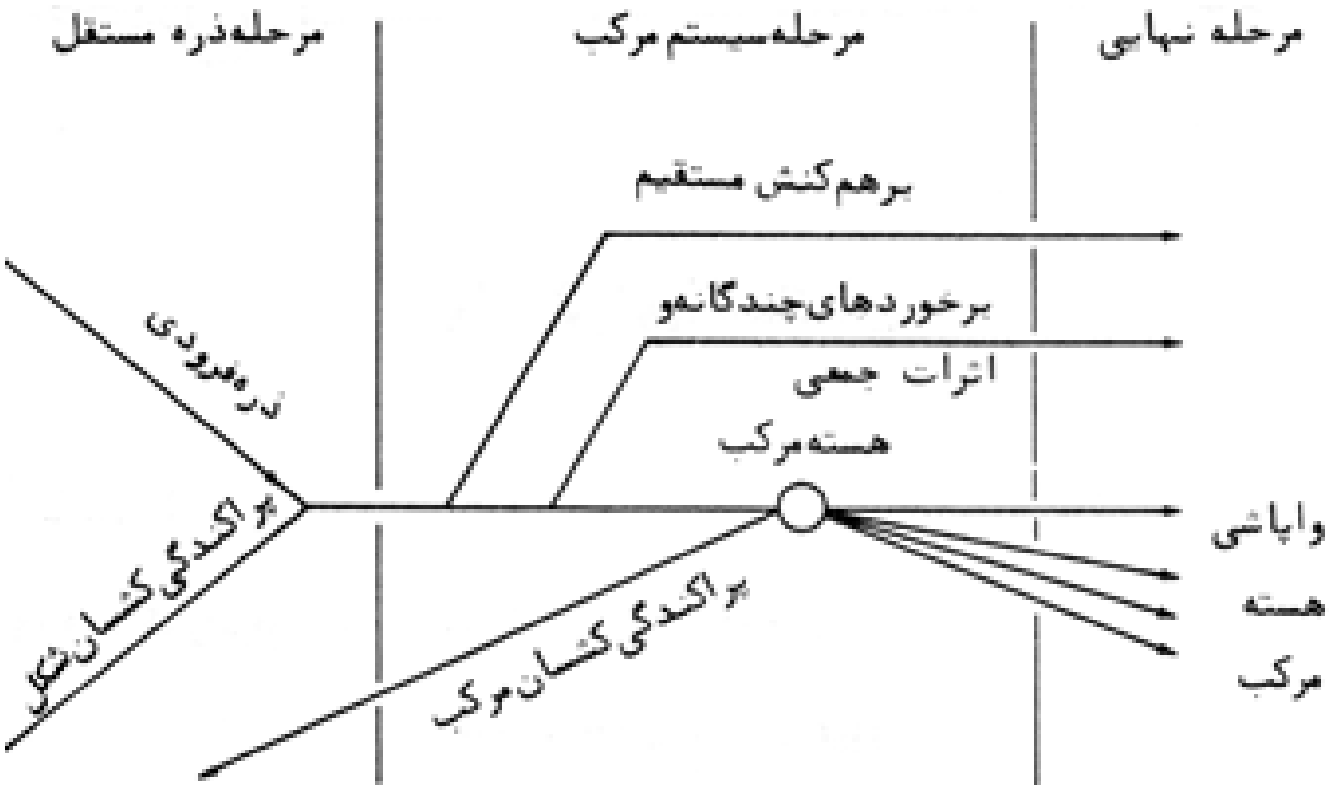
مقدمه

- هر چند که اکنون روشن شده است **مزونها** نقش مهمی را در نیروهای هسته‌ای بازی می‌کنند، ولی بحث کنونی این کتاب، محدود به **واکنشهای هسته‌ای در زیرآستانه‌ی تولید مزون** $(\approx 150MeV)$ است. نظریه‌های مفصل **واکنش هسته‌ای** به تدریج توسط **دو مدل** به ظاهر متناقض **قطره‌ای** و **پوسته ای** ساختار هسته ، که در فصل دوم متذکر شده‌ایم، تکمیل شدند. دریک نظریه، فرض شده بود (**بوهر**- 1936) که یک پرتابه‌ی هسته‌ای که بر روی یک هسته فرود می‌آید به شدت **با تمام نوکلئونهای** آن قویاً برهم کنش کرده و انرژی‌اش را سریعاً بین آنها تقسیم می‌کند. **هسته‌ی مرکبی** که به‌این شکل پدید می‌آید، **مستقل** از چگونگی تشکیل آن **وا می‌پاشد**.

مقدمه

- در نظریه‌ی واکنش مبتنی بر **مدل پوسته ای** (**بت**،1940، **فرنباخ**، **سِربِر** و **تیلور**، 1949، **پُرتِر** و **وایسکوف**،1954) پیشنهاد شده بود که **یک نوکلئون فرودی** از طریق **پتانسیل مدل پوسته ای** با هسته برهم کنش می‌کند و **احتمال جذب** آن وایجاد **هسته مرکب** نسبتاً **کم** است . این جنبه‌های متفاوت از واکنش هسته‌ای را می‌توان در یک **نظریه‌ی یگانه ای** گنجاند (**وایسکوف**،1957، **فشباخ**، 1958).
- طبق **نظریه‌ی وایکسوف**، هر واکنش هسته‌ای از طریق یک رشته مراحل مختلف، که به طور طرح وار در **شکل(1-5)** آمده است، انجام می‌شود. وقتی **ذره‌ی فرودی به لبه پتانسل هسته‌ای** می‌رسد، اولین برهم کنش عبارت خواهد بود از **بازتاب جزیی** تابع موج موسوم به **پراکندگی کشسان**.

شکل5-1: رشته مراحل يك واكنش هسته‌اي بر طبق نظريه **وايسكوف**، (وايسكوف 1957).



5- مقدمه

- یادآوری می‌کنیم که هر **ناپیوستگی پتانسیلی** دارای یک **ضریب بازتاب متناهی** برای **موج فرودی** است، (معادله‌ی 2-162) که **مستقل از جهت حرکت موج** است. بخشی از **تابع موج** که وارد هسته می‌شود دستخوش **جذب** قرار می‌گیرد. **فشباخ** پیشنهاد می‌کند که اولین مرحله در فرآیند **جذب** مشتمل بر **برخورد دو جسم** است. به عبارت دیگر، اگر **ذره‌ی فرودی یک نوکلئون منفرد** باشد با **یک نوکلئون منفرد در هسته** برهم کنش کرده آنرا به یک **تراز انرژی پر نشده** می‌برد (**شکل5-2**). اگر **نوکلئون ضربه خورده** ، هسته را **ترک** کند، یک **واکنش مستقیم** رخ می‌دهد.

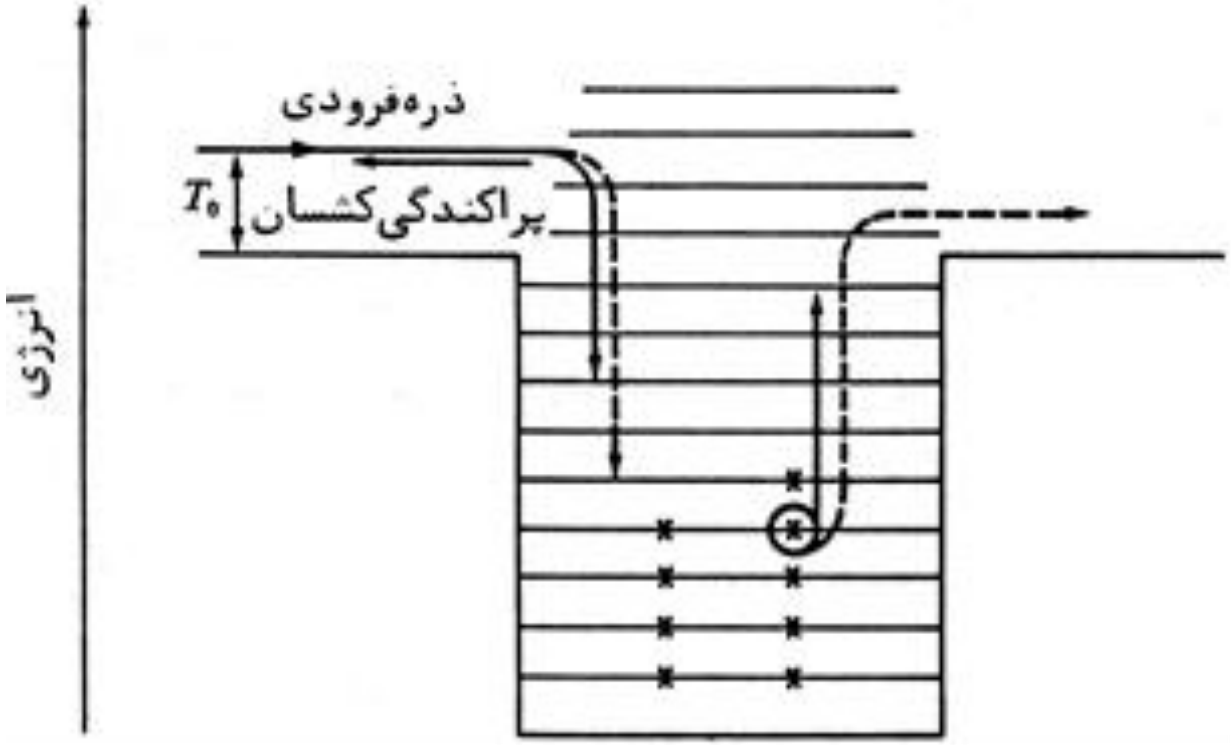
مقدمه

- ظاهراً این فرآیند در **انرژی های زیاد محتملتر** است، چه دراین حال لااقل یک **نوکلئون شانس** دریافت انرژی کافی جهت **ترک هسته** را خواهد داشت.
- اگر نوکلئون مضروب، هسته را **ترك نکند**، برهم کنشهای پیچیده‌تری می‌توانند به وجودآیند : نوکلئون **فرودی** (یا نوکلئون **مضروب**) می‌تواند با **نوکلئون دومی** در هسته بر هم کنش کند و آنرا به‌یک **تراز برانگیخته پر نشده** ببرد. دراین صورت، تحت شرایط مناسب، هسته می‌تواند به یک حالت **جمعی برانگیخته** شود، (ر.ک بخش2-5)، و **یکی** از نوکلئونها می‌تواند هسته را **ترک** کند.

5- مقدمه

- اگر این امر رخ ندهد، هر کدام از نوکلئونها (**سه نوکلئون**) که اکنون در **ترازهای پر نشده‌ای** درهسته می باشند می‌توانند با نوکلئونهای دیگر برهم کنش کنند تا اینکه بالاخره **توزیع انرژی** پیش‌بینی شده توسط **نظریه‌ی هسته‌ی مرکب** ایجاد شود.
- **هسته‌ي مرکب** دریک مجموعه از برهم کنشهای چنان پیچیده‌ای به وجود می‌آید که احتمالاً جزئیات مراحل اولیه تشکیلش را به **خاطر نمی‌آورد**. از اینرو، **واپاشی آن** باید **مستقل از نحوه‌ی تشکیل‌اش** باشد. ممکن است اتفاق افتد که **ذره‌ی فرودی** (یا ذره‌ای از **همان نوع** ذره فرودی) از **هسته مرکب** با **همان انرژی** (c.m.) اولیه اش گسیل شود.

شکل2-5: مرحله نخست دریک واکنش هسته‌ای بر طبق نظریه‌ی یگانه شده **فشباخ** . **ذره فرودی** بایک **نوکلئون در هسته** برخورد می کند و آنرا به یک **تراز بالاتر** می برد . اگرنوکلئون هسته را ترک کند،یک **واکنش مستقیم** رخ می‌دهد، (نشان داده شده با نقطه چین). نوترونها و پروتونها در روی نمودار متمایز **نیستند.**



5- مقدمه

- این کیفیت را **پراکندگی کشسان مرکب** گویند. ذره‌ای که این چنین گسیل می‌شود را نمی‌توان، جز، احتمالاً با یک **درنگ زمانی** اندک، از ذره پراکنده شده **کشسان** شکل تمیز داد.
- همچنین از این جنبه واکنش هسته‌ای می‌توان پی برد که وقتی انرژی **فرودی** $T_{\circ}(c.m.)$ را تغییر می‌دهیم (شکل 5-2) ممکن است این انرژی متناظر با یک **تراز مجازی** از **پتانسیل هسته‌ای** (شکل **29-2**) باشد . دراین صورت، **احتمال یافتن** ذره‌ی **فرودی** در **داخل هسته** زیاد است و احتمال واکنش هسته‌ای، دارای یک **تشدید پتانسیلی تک ذره‌ای** است.

5- مقدمه

- بررسی **احتمال تشکیل هسته مرکب** با چندین **تشدید**، **(تشدیدهای هسته مرکب)**، مشکلتر است. همین قدر متذکر می‌شویم که هر سیستم کوانتومی با **برانگیختگی زیاد**، دارای **ترازهای نزدیک به هم بسیاری** است، زیرا، دراین صورت امکانات برانگیختگی بسیار متفاوتی می‌توانند با انرژیهای برانگیختگی مشابه، وجود داشته باشند. امروزه **انرژی** و **پهنای تشدیدهای هسته مرکب** را فقط می‌توان برحسب **ثابتهای تجربی** بیان کرد(بخش5-5)، معذالک درک نظری آن نیز در حال تکوین است.

تذکر

- **تذکر** : انرژی بر انگیختگی هسته مرکب برابر است با $(S + T_\circ)$ که در آن S انرژی **جدائی ذره فرودی** از حالت **پایه ی** هسته مرکب است (شکل5 - 22). مقدار S برای **پروتون ها** و **نوترون ها** حدود $8MeV$ می باشد. $T_\circ$ **انرژی جنبشی در سیستم مرکز** جرم دو ذره هم برخورد است.
- یا تفاضل انرژی جنبشی ذره فرودی در سیستم آزمایشگاه منهای انرژی جنبشی مرکز جرم دوذره (که به دنبال تعریف می کنیم

$$T_\circ = T_a - T_{c.m.}$$

- **تذکر** : اگر تعداد پادنوکلئون ها را با اعداد منفی بیان کنیم تعداد کل نوکلئون ها در تمام واکنشهای شناخته شده پایسته می ماند.

5- مقدمه

- بعضی از **جنبه‌های** واکنشهای هسته‌ای **مستقل** از سازو کار مفصل برهم کنش‌اند و می‌توان آنها را از **پایستگی انرژی، تکانه خطی و تکانه زاویه‌ای** نتیجه گرفت. **پاریته** نیز تا حد زیادی **پایسته** است. به علاوه، **تعداد و نوع نوکلئونها** در هر واکنش **ثابت** می‌ماند، **مگر** اینکه انرژیها آنقدر زیاد باشند که **زوجهای نوکلئون- پادنوکلئون** را ایجاد کنند. کاربرد این قوانین پایستگی را در واکنشهای هسته‌ای، قبل از در نظر گرفتن جزئیات احتمال برهم کنش یا **سطح مقطع (Cross-Section)**، مورد بحث قرار خواهیم داد.