

[www.salampnu.com](http://www.salampnu.com)

## سایت مرجع دانشجوی پیام نور

- ✓ نمونه سوالات پیام نور : بیش از ۱۱۰ هزار نمونه سوال همراه با پاسخنامه
- تستی و تشریحی
- ✓ کتاب ، جزوه و خلاصه دروس
- ✓ برنامه امتحانات
- ✓ منابع و لیست دروس هر ترم
- ✓ دانلود کاملاً رایگان بیش از ۱۴۰ هزار فایل مختص دانشجویان پیام نور

[www.salampnu.com](http://www.salampnu.com)



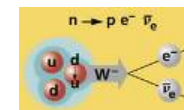
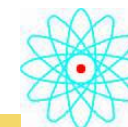
# فيزيك هسته ای ۱

(۳ واحد)

تهیه کننده:

پرویز پرورش

- براساس کتاب آشنایی با فیزیک هسته ای (جلد اول)
- تالیف: کنت کرین
- ترجمه: دکتر محمد ابراهیم ابو کاظمی،
- دکتر منیژه رهبر
- انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، ۱۳۷۱





دانشگاه پیام نور

## فهرست

فصل ۱: مفاهیم پایه

فصل ۲: مبانی مکانیک کوانتومی

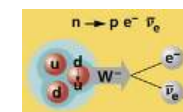
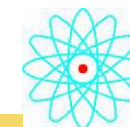
فصل ۳: خواص هسته ها

فصل ۴: واپاشی هسته ای و رادیو اکتیویته

فصل ۵: واپاشی آلفا

فصل ۶: واپاشی بتا

فصل ۷: واپاشی گاما

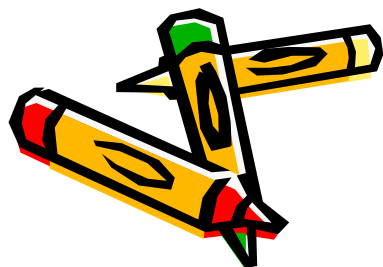
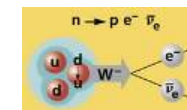
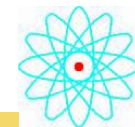




## طرح درس



این درس به میزان ۳ واحد برای تدریس در یک نیمسال تحصیلی در نظر گرفته شده است. با توجه به واحد درس، ساعات مرور درس ۲۴ ساعت است که می تواند در ۶ جلسه ۴ ساعته مرور و رفع اشکال شود. بخش های ستاره و صلیب دار جزو سرفصل درس محسوب نمی شود، لذا اساتید محترم می توانند با توجه به نسبت حجم مطالب به تعداد جلسات درس، تقسیم بندی مناسبی به عمل آورده و برنامه را به نحو مطلوب اجرا نمایند.

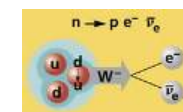
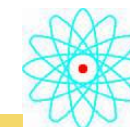




دانشگاه پیام نور

## هدف از ارائه درس

این کتاب اصولاً برای دانشجویان کارشناسی نوشته شده است. کتاب برای دانشجویان رشته فیزیک و در ادامه فیزیک جدید در نظر گرفته شده است. دانشجویان باید در فیزیک کوانتومی در سطح مقدماتی یا پیشرفته زمینه قبلی داشته باشند. پادایش نیاز ریاضی کتاب در حد معادلات دیفرانسیل است.

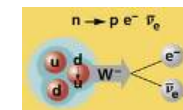
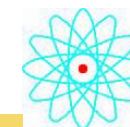




دانشگاه پیام نور

## جایگاه درس

این درس جزو دروس تخصصی اختیاری رشته فیزیک است و برای دانشجویانی که در گرایش هسته ای تحصیل می نمایند جزو دروس تخصصی اجباری به حساب می آید. مطالب این درس مکمل مباحث فیزیک جدید است و دانشجویان با مطالعه آن که بر مبنای نتایج تجربی تنظیم شده است اصول و مفاهیم بنیادی هسته ای را فرا می گیرد و برای مطالعات عمیقتر در این شاخه از علوم آماده می شود.





دانشگاه پیام نور

# فصل ۱: مفاهیم پایه

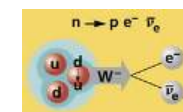
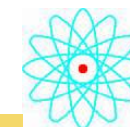


۱-۱ نگاهی به پیشینه تاریخی

۲-۱ چند اصطلاح مقدماتی

۳-۱ خواص هسته ای

۴-۱ یکاها و مرتبه های بزرگی





دانشگاه پیام نور

## فصل ۳: خواص هسته ها



۱-۳ شعاع هسته

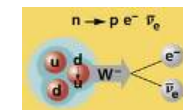
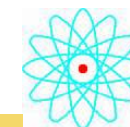
۲-۳ جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

۳-۳ انرژی بستگی هسته ای

۴-۳ تکانه زاویه ای هسته ها و پاریته

۵-۳ گشتاور الکترومغناطیسی هسته

۶-۳ حالت های برانگیخته هسته







دانشگاه پیام نور

## فصل ۶: واپاشی هسته ای و رادیواکتیویته



۱-۶ واپاشی رادیواکتیو

۲-۶ قانون واپاشی رادیواکتیو

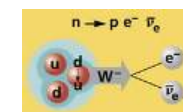
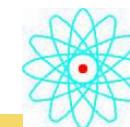
۳-۶ تولید و واپاشی عناصر رادیواکتیو

۴-۶ رشد رادیواکتیویته دختر- هسته

۵-۶ انواع واپاشیها

۶-۶ رادیواکتیویته طبیعی

۷-۶ آمار کوانتومی





دانشگاه پیام نور

## فصل ۸: واپاشی آلفا



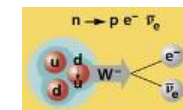
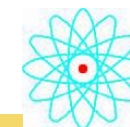
۱-۸ منشأ واپاشی آلفا

۲-۸ فرایندهای واپاشی آلفا

۳-۸ رده بندی واپاشیهای آلفا

۴-۸ تکانه زاویه ای و پارایته در واپاشی آلفا

۵-۸ طیف نمایی واپاشی آلفا





دانشگاه پیام نور

## فصل ۹: واپاشی بتازا

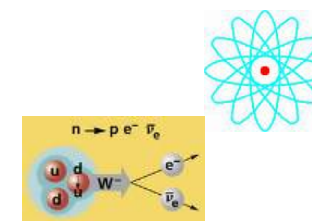


۱-۹ آزاد شدن انرژی در واپاشی بتازا

۲-۹ آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی

۳-۹ قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

۴-۹ نیمه عمر های تطبیقی و واپاشیهای ممنوع





دانشگاه پیام نور

## فصل ۱۰: واپاشی گاما



۱-۱۰ انرژی واپاشی های گاما

۲-۱۰ تابش الکترومغناطیسی کلاسیک

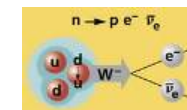
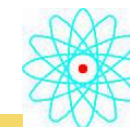
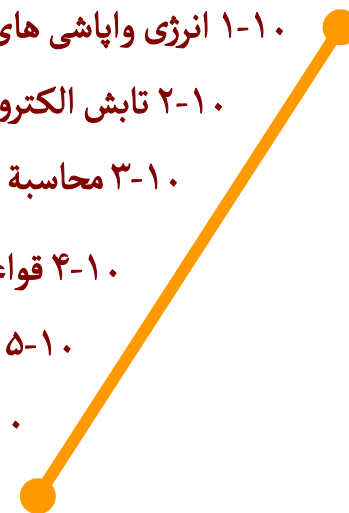
۳-۱۰ محاسبه مکانیک کوانتومی

۴-۱۰ قواعد گزینش تکانه زاویه ای و قطبیدگی

۵-۱۰ اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی

۶-۱۰ تبدیل داخلی

۷-۱۰ طول عمرهای گسیل





دانشگاه پیام نور

# فصل ۱: مفاهیم پایه

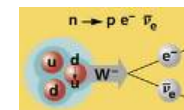
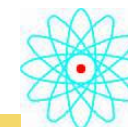


۱-۱ نگاهی به پیشینه تاریخی

۲-۱ چند اصطلاح مقدماتی

۳-۱ خواص هسته ای

۴-۱ یکاها و مرتبه های بزرگی





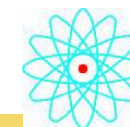
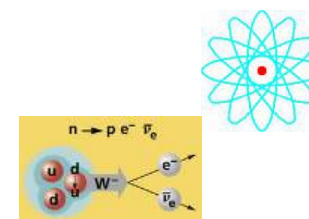
دانشگاه پیام نور

## خلاصه فصل ۱: مفاهیم پایه



### خلاصه درس:

در این فصل مقدمات مربوط به فیزیک هسته ای شامل تاریخچه ، اصطلاحات مقدماتی ، برخی از خواص هسته و یکاهای مورد استفاده در این مبحث مورد بررسی قرار می گیرد.





دانشگاه پیام نور



## ۱- مفاهیم پایه



کشف رادیواکتیویته توسط بکرل در سال ۱۸۹۶

فرضیه رادر فورد در سال ۱۹۱۱

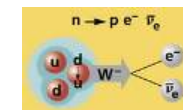
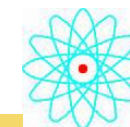
مهبانگ

کاربردها:

درمان بیماریها ، سلاح های هسته ای ، مطالعه ذرات کوچک و بزرگ

عدم انسجام فیزیک هسته ای ، روش پدیده شناختی

مراحل مطالعه





دانشگاه پیام نور

## ۱-۱ نگاهی به پیشینه تاریخی

تفکرات دموکریتوس

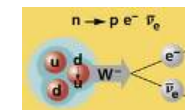
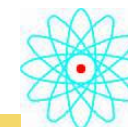
آغاز سده نوزدهم - فرضیه اتم گرایی

دالتون، آووگادرو و فاراده \_ جدول تناوبی مندلیف

بکرل، ۱۸۹۶ \_ رادیواکتیویته

پی و ماری کوری، ۱۸۹۸ - شناسایی مواد رادیواکتیو دیگر

رادرفورد، ۱۹۱۱ - کشف هسته اتم







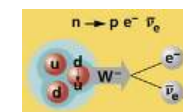
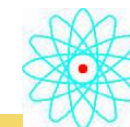
دانشگاه پیام نور

## ۱-۱ نگاهی به پیشینه تاریخی

دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ - کشف ذرات زیر اتمی

سه نقش فیزیکی هسته ای:

- کاوش در قلمرو ذرات بنیادی ماده و برهم کنش آنها
- رده بندی و خواص هسته ای ،
- طراحی روشها و ابزارها





دانشگاه پیام نور

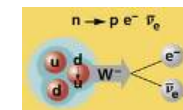
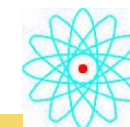
## ۱-۲ چند اصطلاح مقدماتی

بار کل هسته ،  $Ze$  (  $Z$  بار هسته ،  $e$  بار الکترون )

پروتون ، بار مثبت  $e$  ، نوترون بدون بار

عدد جرمی ،  $A$  ( نزدیکترین عدد درست به حاصل تقسیم جرم هسته بر یکای بنیادی جرم )

تعداد نوترون ،  $(A-Z)$  ، ( برابر با تعداد الکترون ) ، فاقد بار





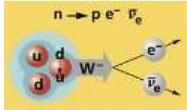
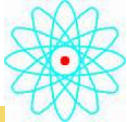
دانشگاه پیام نور

# ۲-۱ چند اصطلاح مقدماتی



دلایل عدم حضور الکترون در هسته:

- نیاز به نیروی قوی نگهدارنده
- i. نیاز به  $\Delta x = 20 \text{ MeV}/c$  انرژی الکترون ~~بزرگتر~~ **کمتر** از  $20 \text{ MeV}$
- ii. نیاز به فرد بودن تکانه زاویهای (اسپین هسته)، مخالف واقعیت
- iii. نیاز به بزرگتر بودن گشتاور دو قطبی مغناطیسی هسته نسبت به مقدار مشاهده شده





دانشگاه پیام نور

## ادامه چند اصطلاح مقدماتی

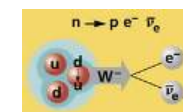
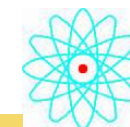


چادویک ، ۱۹۳۲ - کشف نوترون ، عدم نیاز به پاسخ

نمایش نوکلید ،  ${}^A_Z A_N$

ایزوتوپ ، (نوکلیدهای با Z یکسان)

ایزوتون ، (نوکلیدهای با N یکسان)





دانشگاه پیام نور

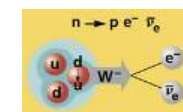
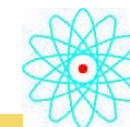
## ادامه چند اصطلاح مقدماتی



رادیو ایزوتوپ ، (ایزوتوپ پرتوزا)

ایزوتون ، (نوکلیدهای با  $N$  یکسان)

ایزوبار ، (نوکلیدهای با  $A$  یکسان)





دانشگاه پیام نور

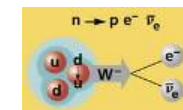
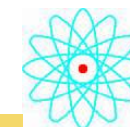
## ۱-۳ خواص هسته

خواص هسته:

جرم ، شعاع ، فراوانی نسبی ، مدهای واپاشی و نیمه عمرها ، مدهای واکنش و سطح

مقطعه‌های واکنش ، اسپین ، گشتاوردوقطبی مغناطیسی ، گشتاورچارقطبی الکتریکی ،

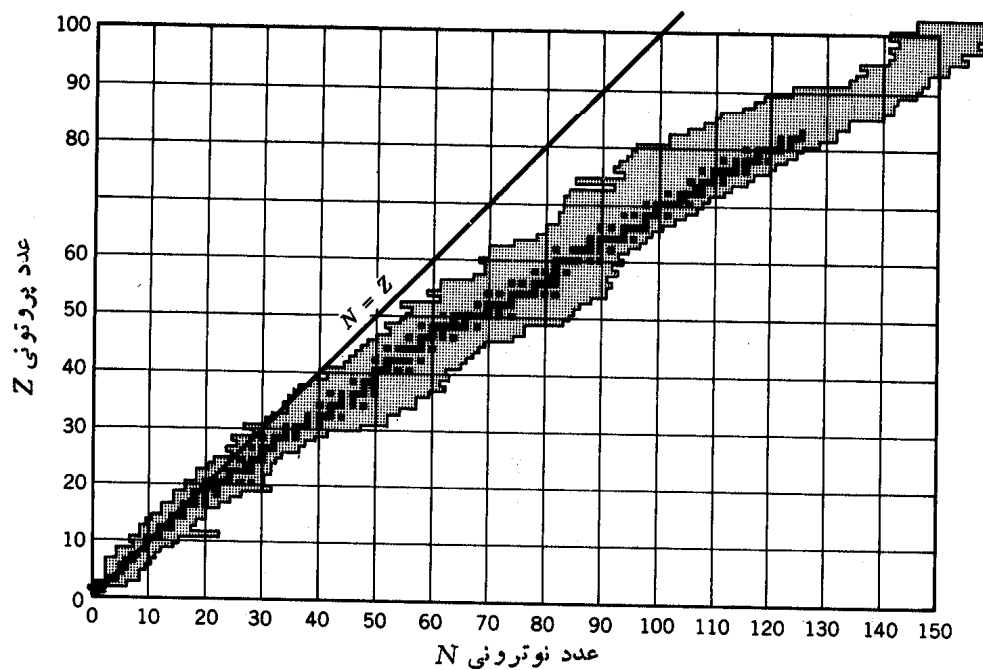
حالت‌های برانگیخته نوکلید



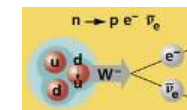
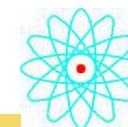


دانشگاه پیام نور

## ۳-۱ خواص هسته



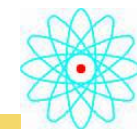
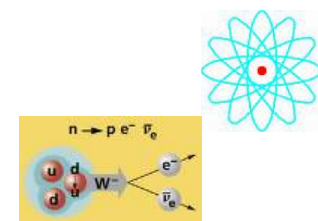
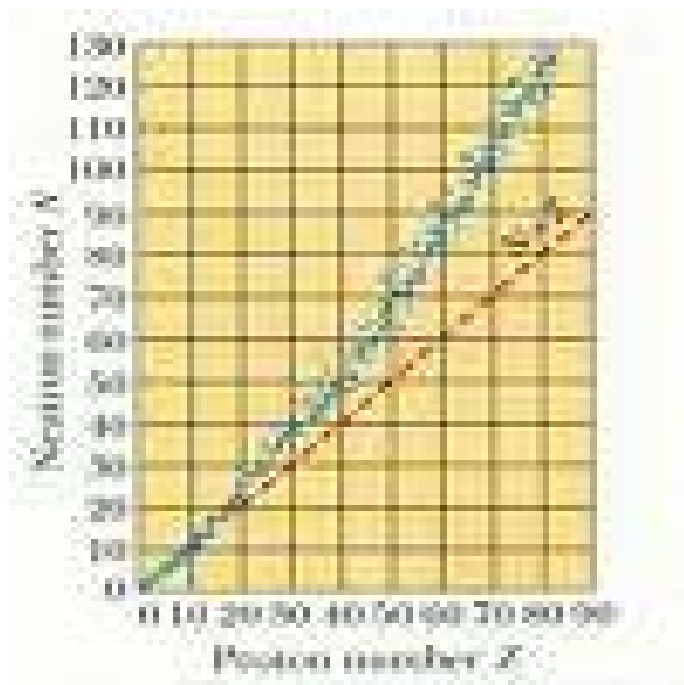
شکل ۱-۱ هسته‌های پایدار در ناحیه سایه‌دار پررنگ، و هسته‌های رادیواکتیو در ناحیه سایه‌دار کم‌رنگ قرار دارند.





دانشگاه پیام نور

## ۳-۱ خواص هسته

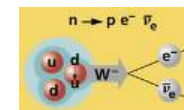
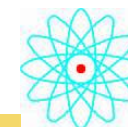
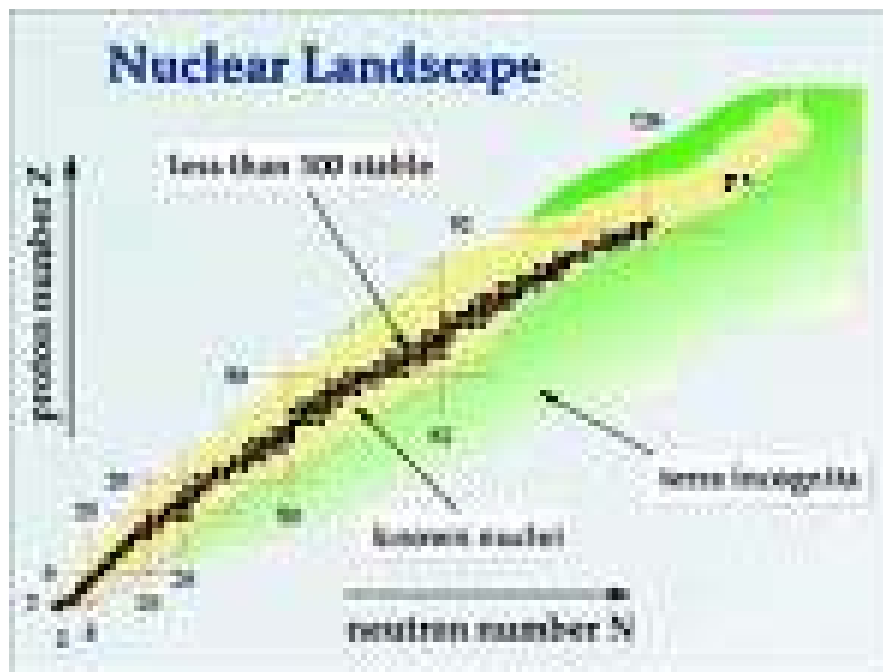






دانشگاه پیام نور

## ۳-۱ خواص هسته





دانشگاه پیام نور

## فصل ۳: خواص هسته ها



۱-۳ شعاع هسته

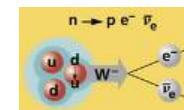
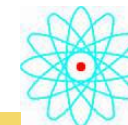
۲-۳ جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

۳-۳ انرژی بستگی هسته ای

۴-۳ تکانه زاویه ای هسته ها و پاریته

۵-۳ گشتاور الکترومغناطیسی هسته

۶-۳ حالت های برانگیخته هسته





Microsoft  
Equation  
3.0



## خواص هسته ها



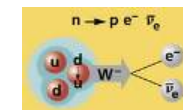
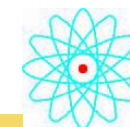
پارامترهای هسته ای:

خواص استاتیکی:

بار الکتریکی ، شعاع ، جرم ، انرژی بستگی ، تکانه زاویه ای ،

پارامتر ، دو قطبی مغناطیسی ، گشتاور چار قطبی الکتریکی ، انرژی

حالت های برانگیخته





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation  
3.0

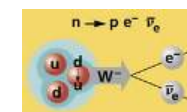
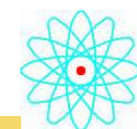
# ادامه خواص هسته ها



پارامترهای هسته ای:

خواص دینامیکی:

احتمال واپاشی ، احتمال واکنش





Microsoft  
Equation  
3.0



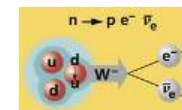
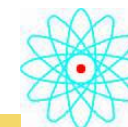
## ۱-۳ شعاع هسته

دو پارامتر مورد مطالعه:

شعاع میانگین ، ضخامت پوست

روش های تعیین شعاع هسته (مبتنی بر توزیع بار هسته ای)

پراکندگی الکترونیهای پر انرژی ، پرتوهای ایکس میونی ، انتقال ایزوتوپی پرتو ایکس و تابش اپتیکی ، اختلاف انرژی هسته های آینه ای ، برهم کنش کولنی بین یک ذره باردار و هسته





دانشگاه پیام نور



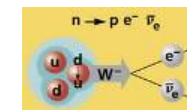
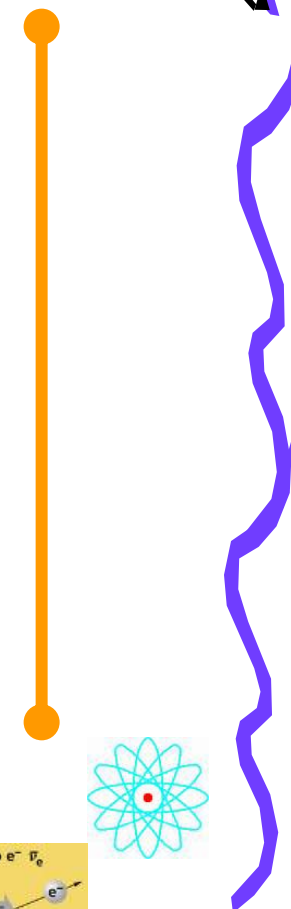
Microsoft Equation  
3.0

## ۱-۳ شعاع هسته

روش های تعیین شعاع هسته (مبتنی بر توزیع ماده هسته ای):

پراکندگی رادرفورد ، واپاشی آلفا ، پرتوهای ایکس پیونی ، برهم کنش

قوی هسته ای بین ذرات موجود در هسته





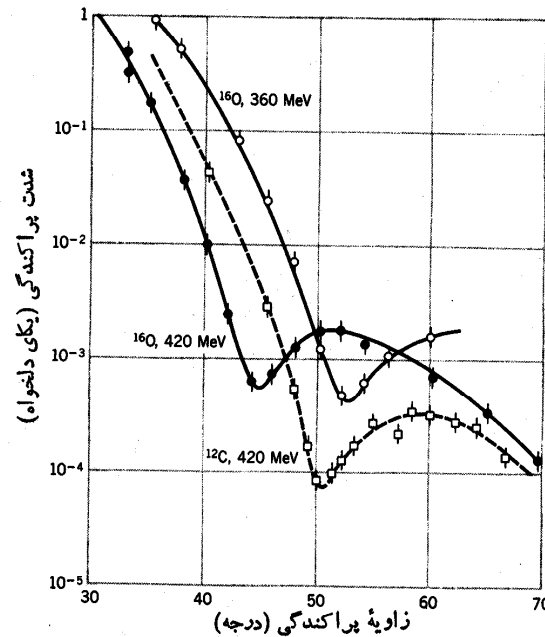
دانشگاه پیام نور

# ادامه خواص هسته

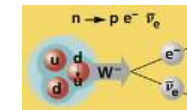
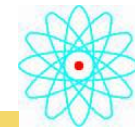
## توزیع بار هسته ۱



بررسی تابش پراکنده شده توسط جسم



شکل ۱۰۳ پراکنده‌گی الکترون از هدفهای  $^{16}\text{O}$  و  $^{12}\text{C}$ . شکل سطح مقطع تا حدودی مشابه نقش پراش حاصل از امواج نوری است.





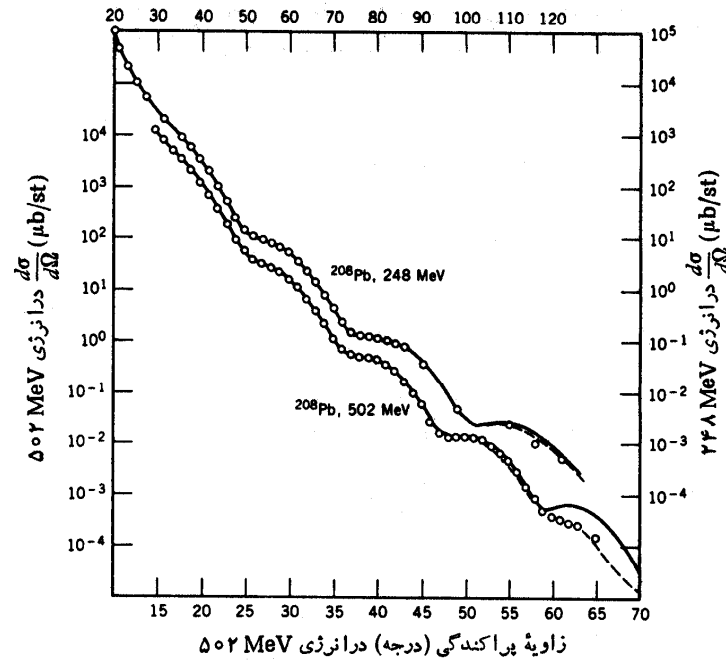
دانشگاه پیام نور

# ادامه خواص هسته

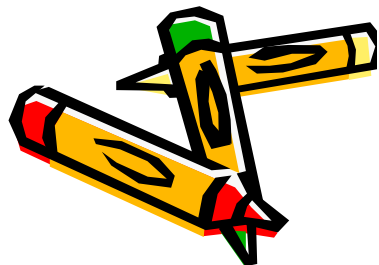
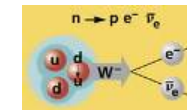
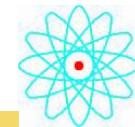
## توزیع بار هسته ۲



پراکندگی الاستیک الکترون



شکل ۴.۳ پراکندگی الاستیک الکترونها از هدف  $^{208}\text{Pb}$ . توجه داشته باشید که مقیاسهای افقی متنظرها دومقدار انرژی باهم تفاوت دارند. در این آزمایش هم رفتار پراش - مانند دیده می‌شود، اما کمینه‌ها به صفر نمی‌رسند.



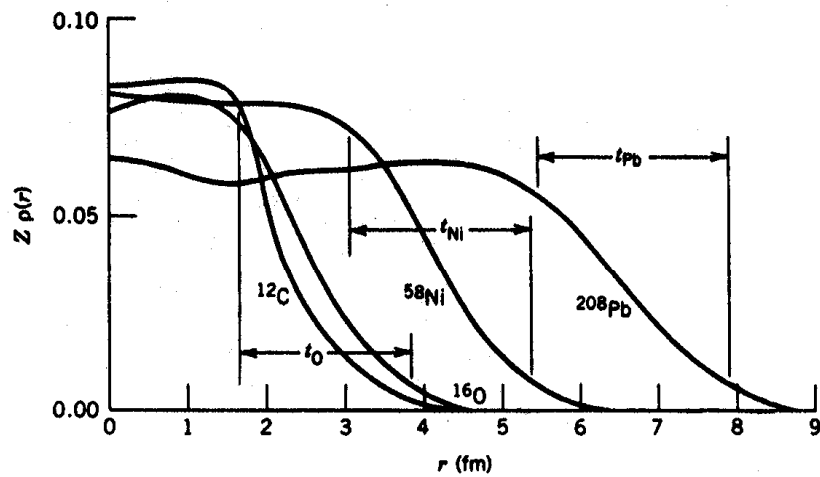




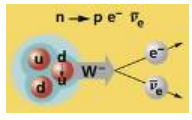
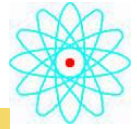
دانشگاه پیام نور

# ادامه خواص هسته

## نمونه های توزیع بار هسته ای



شکل ۴.۳ نمونه هایی از توزیع شعاعی بار در هسته که با استفاده از پراکندگی الکترونها حاصل شده است. ضخامت پوست  $t$  برای هسته های  $\text{O}$ ،  $\text{Ni}$  و  $\text{Pb}$  نشان داده شده است که مقدار آن ثابت و در حدود  $2.3 \text{ fm}$  است. تغییر چگالی بار مرکزی از سبکترین تا سنگینترین هسته، چندان زیاد نیست.





دانشگاه پیام نور

## ادامه خواص هسته

شعاع هسته

$$\frac{A}{(4/3)\pi R^3} \approx const.$$

$$R = R_0 A^{1/3}$$

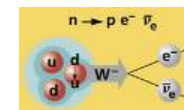
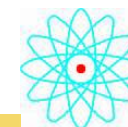
$$R_0 \sim 1.2 \text{ fm}$$

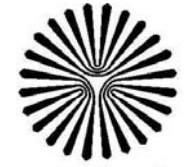
تعداد نوکلئونهای موجود در هسته:

شعاع هسته:

$$t \sim 2.3 \text{ fm}$$

ضامت پوست:

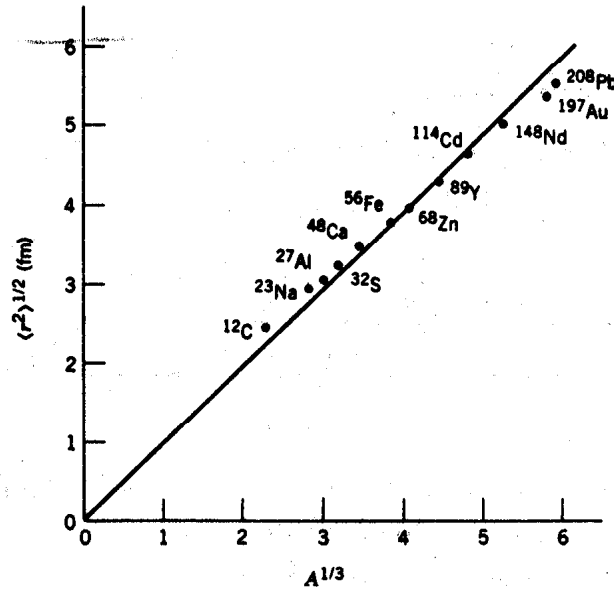




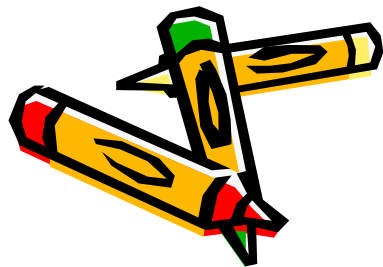
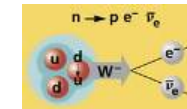
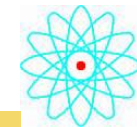
دانشگاه پیام نور

# ادامه خواص هسته

## شعاع هسته



شکل ۵-۳ ریشه میانگین مربعی شعاع هسته‌ها که از آزمایش‌های پراکندگی الکترون به دست آمده است. با توجه به شیب خط داریم  $R_0 = 1.23 \text{ fm}$ . این خط، از برازش حقیقی نقاط تجربی حاصل نشده است، بلکه آن را از مبدا مختصات عبور داده‌ایم تا معادله  $R = R_0 A^{1/3}$  برقرار شود. خطای آزمایش نوعاً از قطر نقاط تجربی ( $\pm 0.1 \text{ fm}$ ) کوچکتر است.

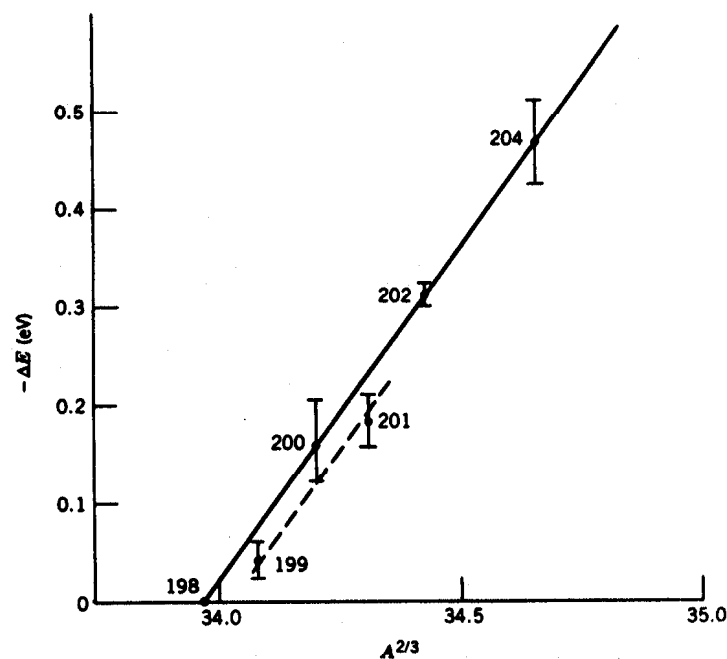




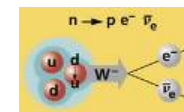
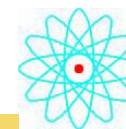
دانشگاه پیام نور

## ادامه خواص هسته

شعاع هسته ، با استفاده از انتقالهای ایزوتوپی پرتو ایکس K در Hg



شکل ۶.۳ انتقال ایزوتوپی پرتو ایکس K در Hg. انرژی پرتو ایکس K در Hg در حدود ۱۰۰ keV است، بنابراین انتقال ایزوتوپی نسبی از مرتبه  $10^{-6}$  می شود. تناسب پیش بینی شده با  $A^{2/3}$  با این اطلاعات تأیید می شود. چاه جایی «فرد-زوج» منحنی بر اثر مدار ذره فرد در هسته به وجود می آید. به همین دلیل، ایزوتوپیهای A فرد را باید جدا از ایزوتوپیهای A زوج رسم کرد. اما تناسب با  $A^{2/3}$  در هر دو گروه دیده می شود.

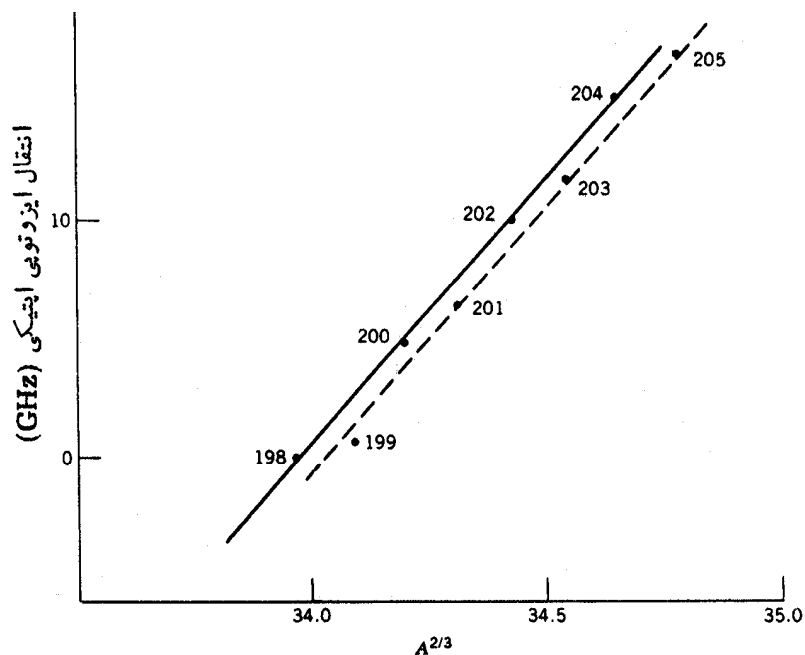




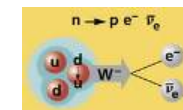
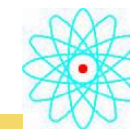
دانشگاه پیام نور

## ادامه خواص هسته

شعاع هسته ، با استفاده از انتقالهای ایزوتوپی اپتیکی



شکل ۲.۳ انتقالهای ایزوتوپی اپتیکی در ایزوتوپیهای Hg از ۱۹۸ تا ۲۰۵ در مقایسه با ایزوتوپ ۱۹۸. این اطلاعات از طریق طیف‌نمایی لیزری به دست آمده است که خطای آزمایشی آن در حدود  $\pm 1\%$  درصد است. طول موج گذار اپتیکی در این اندازه‌گیریها برابر  $2537\text{nm}$ ، و انتقال ایزوتوپی در حدود یک قسمت در هر  $10^7$  قسمت بوده است. این نتایج را با نتایج شکل ۶.۳ مقایسه کنید.

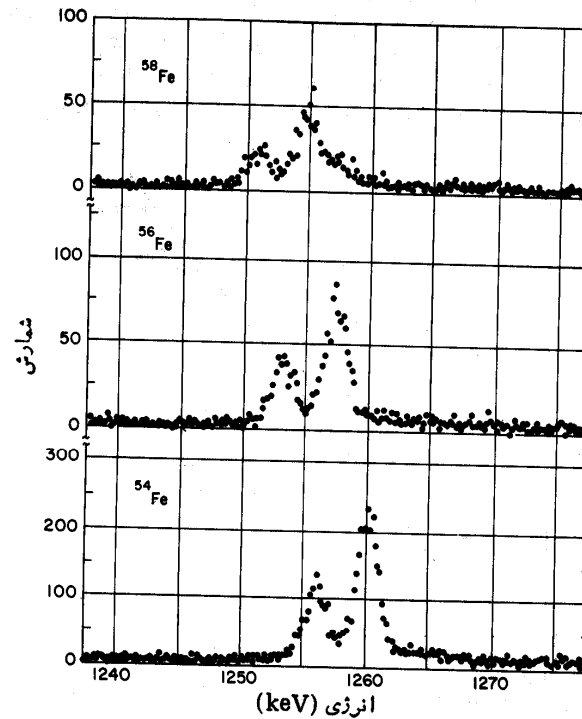




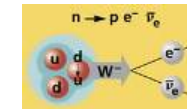
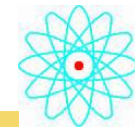
دانشگاه پیام نور

## ادامه خواص هسته

شعاع هسته ، با استفاده از پرتو ایکس موثونی



شکل ۸.۳ پرتوهای ایکس موثونی K برای چند ایزوتوپ Fe. قله‌ها گذارهای  $2p_{3/2}$  به  $1s_{1/2}$  و  $2p_{1/2}$  به  $1s_{1/2}$  را نشان می‌دهند که شدت نسبی آنها به نسبت ۲:۱ است. این نسبت از طریق وزن آماری ( $2j+1$ ) حالت اولیه قابل تعیین است. انتقال ایزوتوپی را به روشنی می‌توان از تغییر انرژی گذار تشخیص داد. اثر نسبی انتقال در اینجا در حدود ۴ درصد است که باید آن را با مقدار  $10^{-6}$  حاصل از پرتوهای ایکس الکترونی K (شکل ۶.۳) مقایسه کرد.

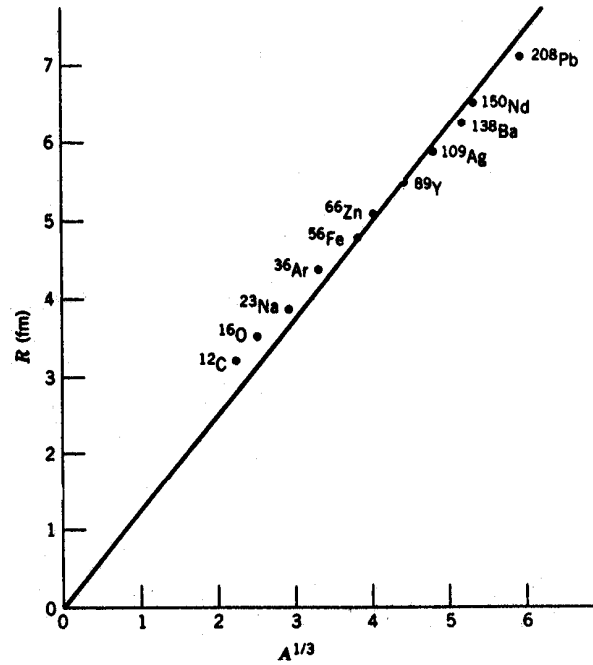




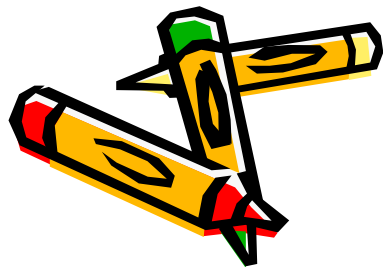
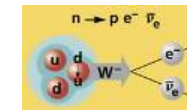
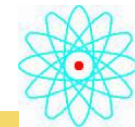
دانشگاه پیام نور

## ادامه خواص هسته

شعاع هسته ، با استفاده از پرتو ایکس موثونی



شکل ۹.۳ تعیین شعاع میانگین هسته با استفاده از اندازه گیریهای پرتو ایکس موثونی. در اینجا هم، مانند مورد شکل ۵.۳، بستگی خطی بین شعاع و  $A^{1/3}$  به تقریب تأیید می شود (در این مورد نیز خط را عمداً از مبدأ مختصات عبور داده ایم). با توجه به شیب خط داریم  $R_0 = 1.25 \text{ fm}$ .

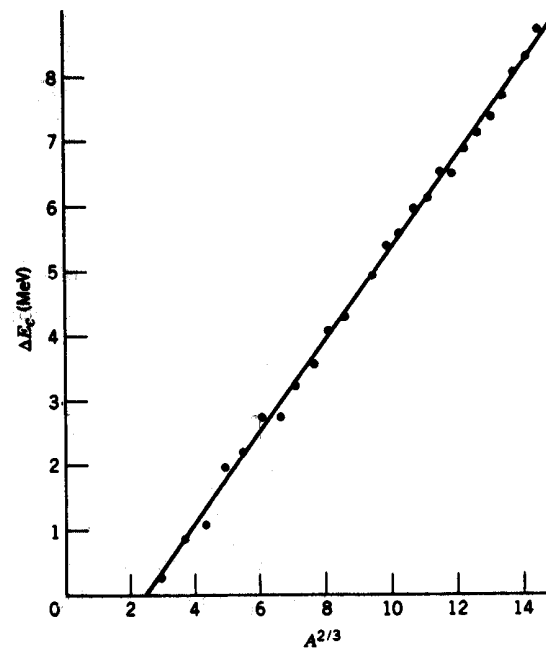




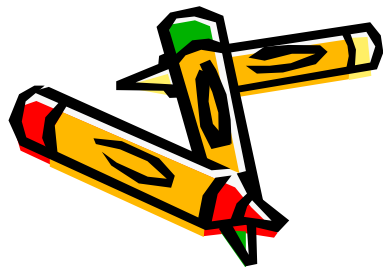
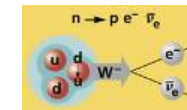
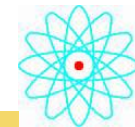
دانشگاه پیام نور

## ادامه خواص هسته

شعاع هسته ، اختلاف انرژی کولنی بین هسته های آینه ای



شکل ۱۵.۳ اختلاف انرژی کولنی بین هسته های آینه ای. چنانکه انتظار می رود، تناسب بین اختلاف انرژی و  $A^{-2/3}$  به خوبی مشهود است. با توجه به شیب خط، داریم  $R_0 = 1.22 \text{ fm}$ .



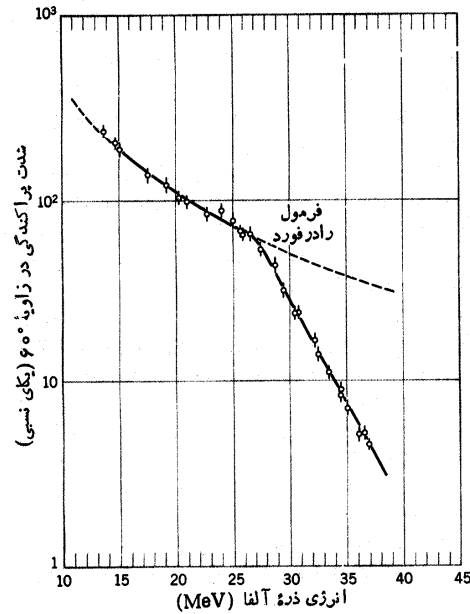




دانشگاه پیام نور

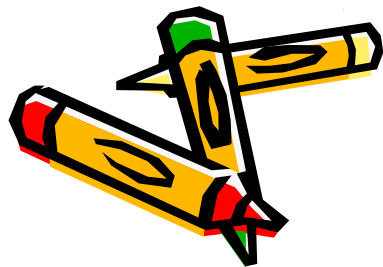
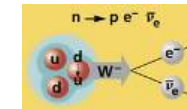
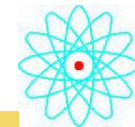
## ادامه خواص هسته

### توزیع ماده هسته ای



پراکندگی ذره آلفا توسط هسته هدف

شکل ۱۱-۳ نقض فرمول پراکندگی رادرفورد. وقتی که ذره فرودی  $\alpha$  آنچنان به هسته هدف Pb نزدیک شود که برهم کنش با نیروی هسته ای (علاوه بر نیروی کولنی) امکان پذیر شود، فرمول رادرفورد اعتبارش را از دست می دهد. با استفاده از نقطه شکست این قانون می توان بزرگی هسته را برآورد کرد.





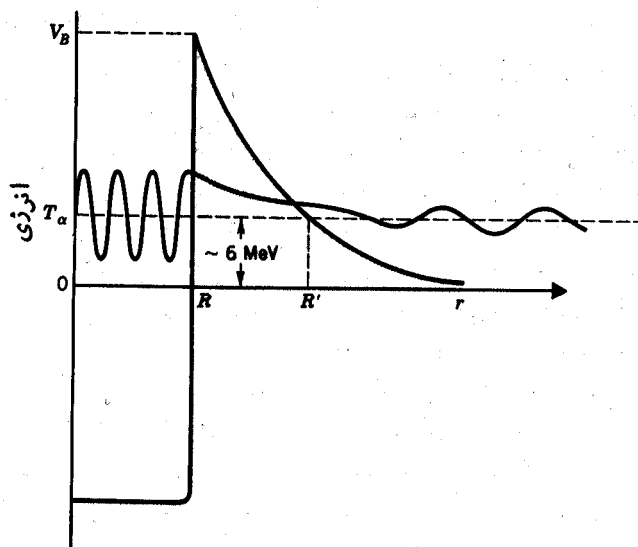
دانشگاه پیام نور

## ادامه خواص هسته

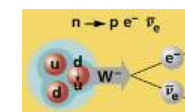
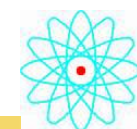
### توزیع ماده هسته ای



نفوذ از سد در واپاشی آلفا



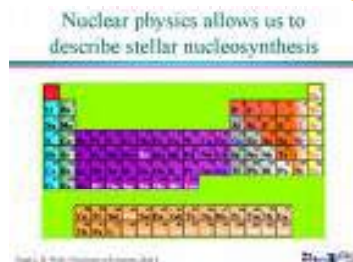
شکل ۱۴.۳ نفوذ از سد در واپاشی آلفا. نیمه عمر گسیل آلفا به احتمال نفوذ از سد بستگی دارد، و احتمال نفوذ هم به ضخامت سد بستگی دارد. بنابراین با استفاده از نیمه عمر اندازه گیری شده می توان شعاع  $R$  را در جایی که نیروی هسته ای به پایان می رسد و سپس دافعه کولنی وارد عمل می شود، تعیین کرد.





دانشگاه پیام نور

# ۲-۳ جرم نوکلیدها و فراوانی آنها



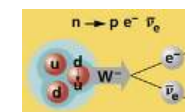
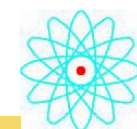
جرم اتمهای خنثی

$$1.4 \times 10^{-8}$$

انرژی بستگی اتمی هیدروژن  $6eV$  ر ۱۳ نسبت آن به انرژی سکون

$$1.2 \times 10^{-3}$$

انرژی بستگی اتمی دوتریوم  $2MeV$  ر ۲۲ نسبت آن به انرژی سکون





دانشگاه پیام نور

Nuclear physics allows us to describe stellar nucleosynthesis



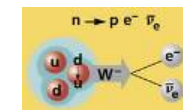
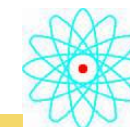
$$8 \times 10^{-3}$$

## ۲-۳ جرم نوکلیدها و فراوانی آنها

نسبت انرژی بستگی به انرژی سکون هسته های معمولی

جرم کوارک حدود  $100 \text{ GeV} / c^2$

نسبت انرژی بستگی کوارکها به جرم کل آنها در هر نوکلئون حدود  $300 \text{ GeV}$





دانشگاه پیام نور

# ادامه جرم نوکلیدها و فراوانی آنها

## اندازه گیری جرم هسته ها

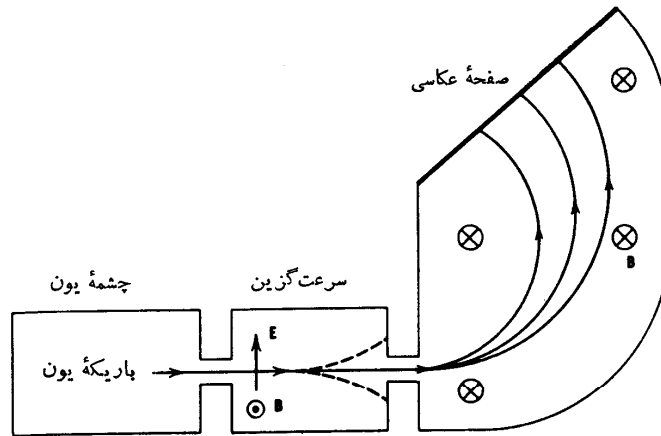


• تعیین جرم هسته ها و فراوانی نسبی آنها

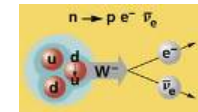
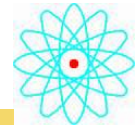
• طیف سنج

• طیف نگار

طیف سنج جرمی



شکل ۱۳-۳ نمودار ساده ای از طیف نگار جرمی. چشمه یون، باریکه ای با توزیع سرعت گرهایی تولید می کند. در ناحیه سرعت گزین به یونهای اجازه عبور داده می شود که سرعت خاصی داشته باشند. (بقیه مطابق شکل منحرف می شوند). سپس جرمهای مختلف موجود در باریکه، متناسب با تکانه هایشان، در میدان مغناطیسی یکنواختی منحرف و بدین ترتیب قابل شناسایی خواهند شد.





دانشگاه پیام نور

# ادامه جرم نوکلیدها و فراوانی آنها

## اجزای طیف سنج جرمی



$$qE = qvB$$

$$v = \frac{E}{B}$$

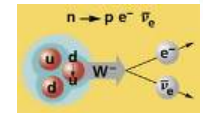
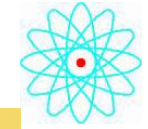
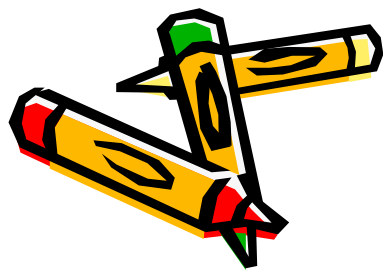
$$mv = qBr \cdot mv = qBr$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$$m = \frac{qrB^2}{E}$$

- ۱. چشمه یون
- ۲. سرعت گزین
- ۳. تکانه گزین

رابطه اصلی مورد استفاده در جرم سنجی





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation  
3.0

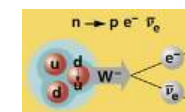
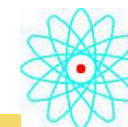
# ادامه جرم نوکلیدها و فراوانی آنها

## روشهای تعیین جرم نوکلئون



۱. روش دوتایه جرمی

۲. روش واکنشهای هسته ای با تعیین  $Q$





Microsoft Equation 3.0



# ادامه جرم نوکلیدها و فراوانی آنها

## روشهای تعیین جرم نوکلئون



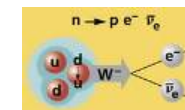
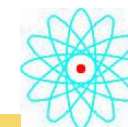
۱- الف: تعیین اختلاف جرم نونان و (فتالین)  $(C_9H_{20})$  و  $(C_{10}H_8)$

$$\Delta = m(C_9H_{20}) - (C_{10}H_8) = 12m(^1H) - m(^{12}C)$$

$$m(^1H) = \frac{1}{12} [m(^{12}C) + \Delta]$$

$$= 1.00000000 + \frac{1}{12} \Delta$$

$$= 1.00782503 \pm 0.0000001u$$







Microsoft Equation 3.0



# ادامه روشهای تعیین جرم نوکلئون

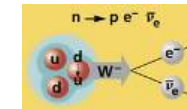
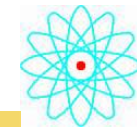
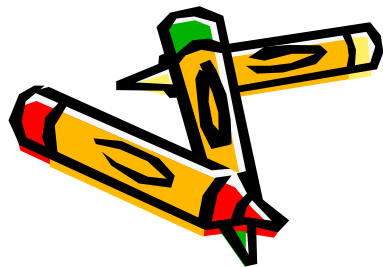


۱-ب: تعیین اختلاف جرم  $N_2$  و  $C_2H_4$

$$\Delta = m(C_2H_4) - m(N_2) = 2m(^{12}C) + 4m(^1H) - 2m(^{14}N)$$

$$= 0.025152196 \pm 0.0000000030u$$

$$m(^{14}N) = m(^{12}C) + 2m(^1H) - \frac{1}{2}\Delta = 14.00307396 \pm 0.000000002u$$





Microsoft Equation 3.0



Microsoft Equation 3.0

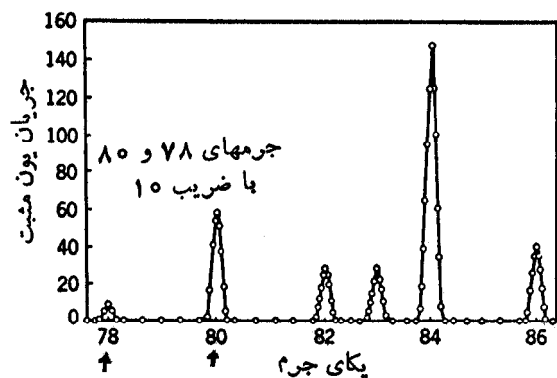
# ادامه جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

## فراوانی نوکلیدها

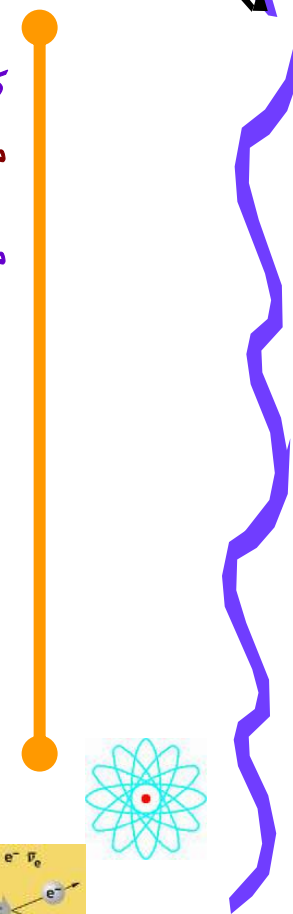
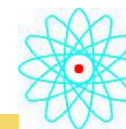
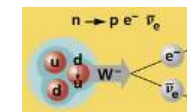


کاربرد طیف سنج جرمی: تعیین فراوانی نسبی ایزوتوپهای مختلف یک عنصر

مثال: تعیین فراوانی ایزوتوپهای پایدار کریپتون



شکل ۱۴-۳ نمونه‌ای از طیف جرمی کریپتون. برای آنکه قله‌های مربوط به جرم‌های ۷۸ و ۸۰ با قله‌های دیگر قابل مقایسه باشد، باید مقیاس محور قائم آنها بر عدد ۱۰ تقسیم شود.



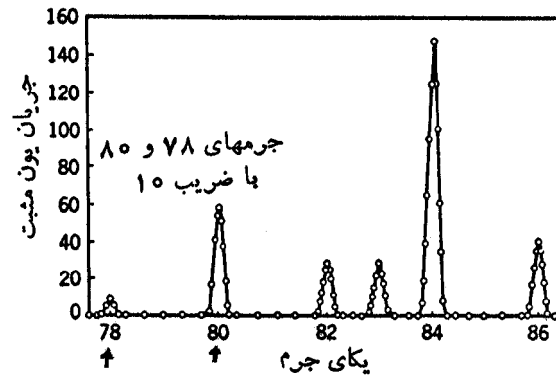
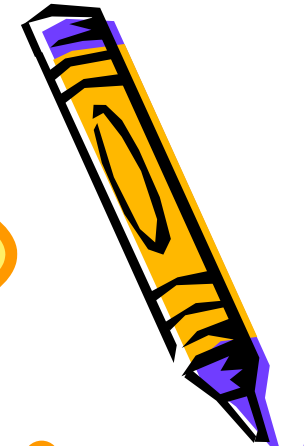


Microsoft Equation 3.0



# ادامه جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

## فراوانی نوکلیدها



$${}^{78}\text{Kr} \rightarrow \%0.356$$

$${}^{80}\text{Kr} \rightarrow \%2.27$$

$${}^{82}\text{Kr} \rightarrow \%11.6$$

$${}^{83}\text{Kr} \rightarrow \%11.5$$

$${}^{84}\text{Kr} \rightarrow \%57.0$$

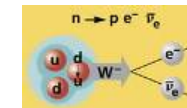
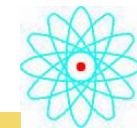
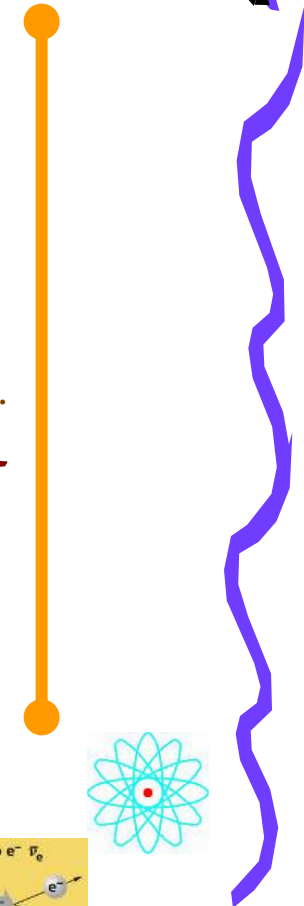
$${}^{86}\text{Kr} \rightarrow \%17.3$$

$$m = 0.00356m({}^{78}\text{Kr}) + 0.0227m({}^{80}\text{Kr}) + \dots$$

$$= 83.8u$$

جرم اتمی متوسط کریپتون

شکل ۱۴۰۳ نمونه‌ای از طیف جرمی کریپتون. برای آنکه قله‌های مربوط به جرم‌های ۷۸ و ۸۰ با قله‌های دیگر قابل مقایسه باشد، باید مقیاس محور قائم آنها بر عدد ۱۰ تقسیم شود.



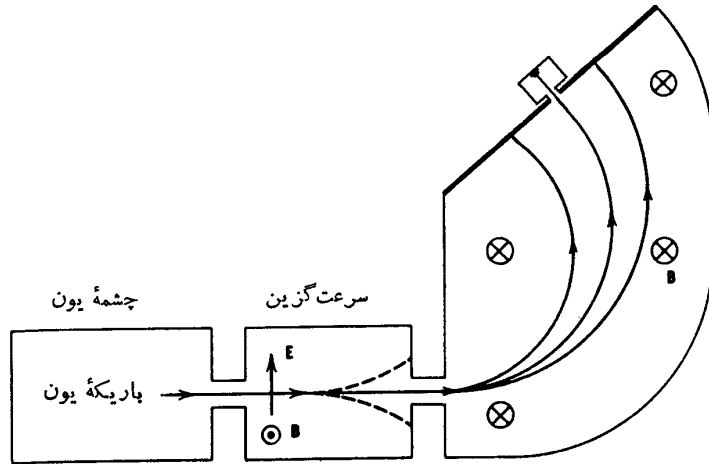


Microsoft Equation 3.0



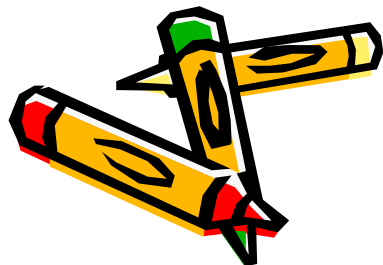
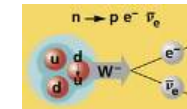
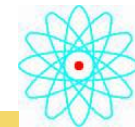
# ادامه جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

## جداسازی ایزوتوپها



تنظیم طیف سنج جرمی روی یک جرم منفرد و جمع آوری ایزوتوپ خاص

شکل ۱۳-۳ نمودار ساده‌ای از طیف‌نگار جرمی. چشمه یون، باریکه‌ای با توزیع سرعت‌گرمایی تولید می‌کند. در ناحیه سرعت‌گزین به یون‌هایی اجازه عبور داده می‌شود که سرعت خاصی داشته باشند (و بقیه مطابق شکل منحرف می‌شوند). سپس جرم‌های مختلف موجود در باریکه، متناسب با تکانه‌هایشان، در میدان مغناطیسی یکفواختی منحرف و بدین ترتیب قابل شناسایی خواهند شد.





Microsoft  
Equation  
3.0



## ادامه جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

### جداسازی ایزوتوپها



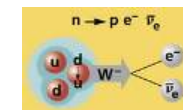
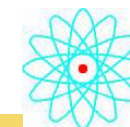
موارد استفاده ایزوتوپهای جدا شده:

• فیزیک هسته ای: تعیین خواص مشخصی مانند سطح مقطع واکنشها

• شیمی

• زیست شناسی

• استفاده از ردیابها در گیاهان و مواد غذایی





Microsoft  
Equation  
3.0



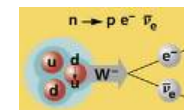
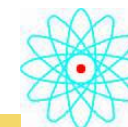
## ادامه جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

### جداسازی لیزری ایزوتوپها

• استفاده از انتقال ایزوتوپی ناشی از اختلاف اندازه هسته ها

• دقت زیاد به علت تکفامی باریکه های لیزری

• انحراف اتمهای یونیده در میدان الکتریکی و جمع آوری آنها



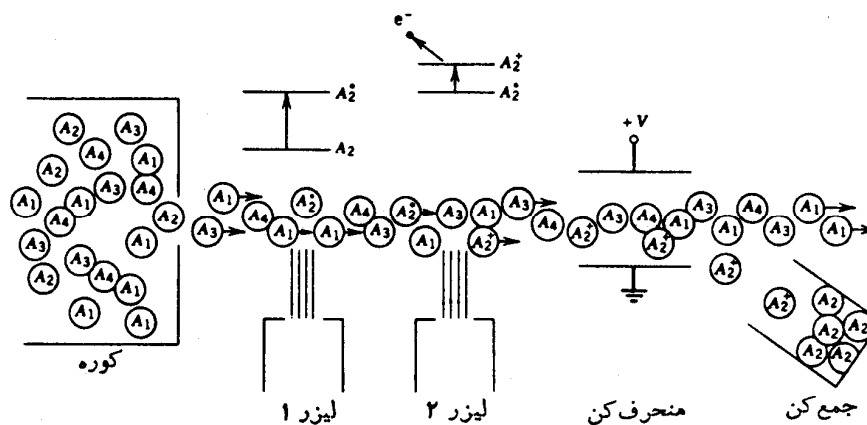


Microsoft Equation 3.0

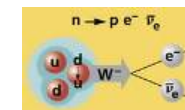
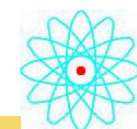


# ادامه جرم نوکلئیدها و فراوانی آنها

## جداسازی لیزری ایزوتوپها



شکل ۱۵.۴ جداسازی لیزری ایزوتوپها. باریکه اتمهای خنثای خارج شده از کوره شامل چهار نوع ایزوتوپ  $A_1$ ،  $A_2$ ،  $A_3$  و  $A_4$  است. لیزر اول چنان تنظیم شده است که با گذار خاصی از ایزوتوپ  $A_2$  در حال تشدید است. به خاطر تکفامی انرژی لیزر و متفاوت بودن انرژی گذار در ایزوتوپهای دیگر، فقط اتمهای  $A_2$  به حالت برانگیخته درمی آیند. لیزر دوم گستره انرژی بهیچ داری، و می تواند تعداد زیادی از اتمهای برانگیخته  $A_2$  را به حالت انرژی آزاد برساند. اما چون فقط اتمهای  $A_2$  در حالت برانگیخته اند، فقط همین اتمها یونیده می شوند. سپس یونهای  $A_2$  را در میدان الکتریکی منحرف و جمع آوری می کنند.





Microsoft Equation 3.0



# ۳-۳ انرژی بستگی هسته ای



انرژی متناظر به جرم هر نوکلید = حاصل تفریق انرژی جرم اتمی آن نوکلید و انرژی بستگی الکترون کل آن

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

$$B = \left\{ Z m_p + N m_n - \left[ m(^A X) - Z m_e \right] \right\} c^2$$

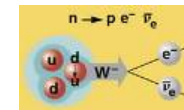
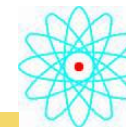
$$B = \left[ Z m(^1 H) + N m_n - m(^A X) \right] c^2$$

$$\Delta = (m - A) c^2$$

انرژی بستگی یک هسته

مجموع جرم Z پروتون و Z الکترون = جرم Z اتم خنثی

تعیین جرم اتمی با استفاده از کاستی جرم







Microsoft Equation 3.0

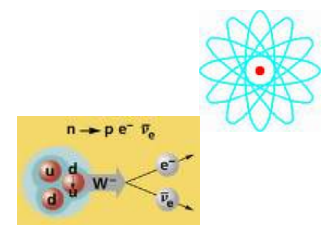


# ادامه انرژی بستگی هسته ای



$S_n$  : انرژی جداسازی نوترون  
انرژی لازم برای دور کردن یک نوترون از هسته

$$S_n = B({}_Z^A X_N) - B({}_Z^{A-1} X_{N-1}) = [m({}_Z^{A-1} X_{N-1}) - m({}_Z^A X_N) + m_n] c^2$$





Microsoft Equation 3.0



# ادامه انرژی بستگی هسته ای



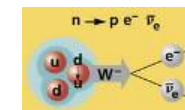
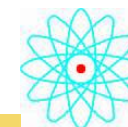
$S_p$  : انرژی جداسازی پروتون

انرژی لازم برای دور کردن یک پروتون از هسته

$$S_p = B({}_z^A X_N) - B({}_{z-1}^{A-1} X_{N-1}) - B({}_1^1 H)$$

$$= \left[ m({}_{z-1}^{A-1} X_{N-1}) + m({}_1^1 H) - m({}_z^A X_N) \right] c^2$$

نکته: در این معادله به جای جرم پروتون ، جرم هیدروژن قرار داده شده است.





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation  
3.0

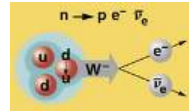
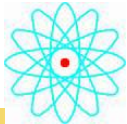
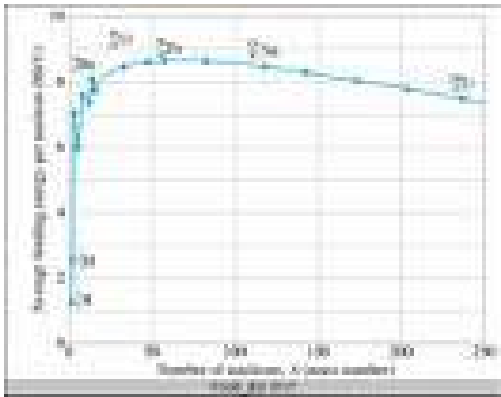
# ۳-۳ انرژی بستگی هسته ای



افزایش انرژی بستگی به معنی آزاد سازی انرژی است.

۱. هم جوشی هسته ای (یا گداخت)

۲. شکافت هسته ای



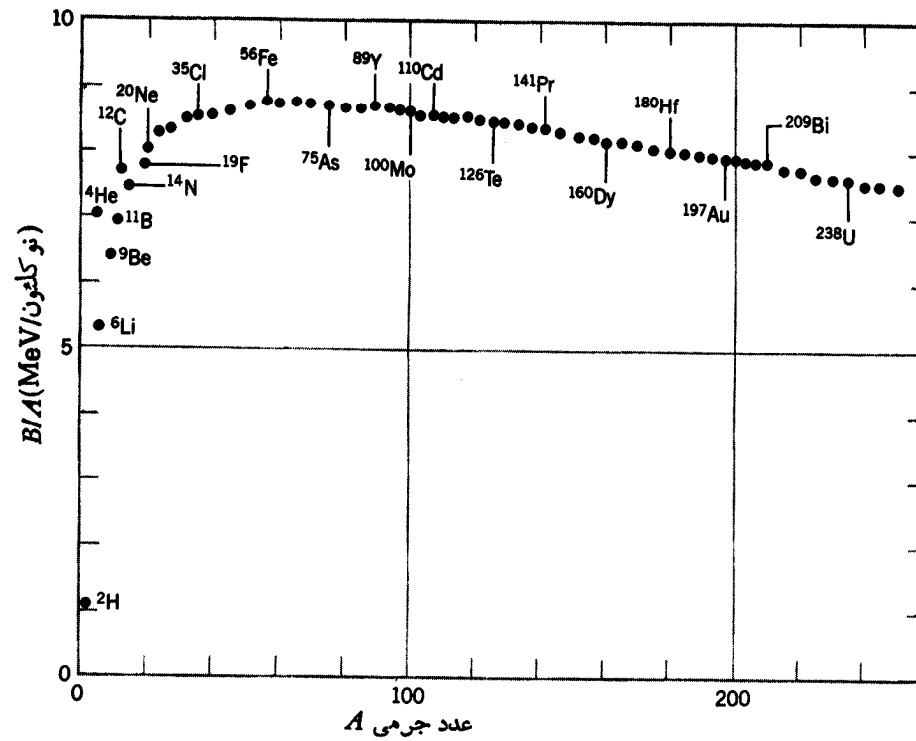


دانشگاه پیام نور

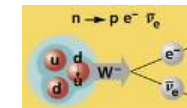
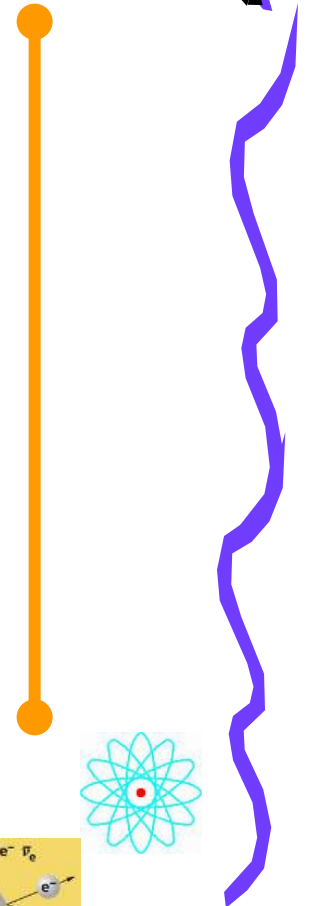


Microsoft Equation 3.0

# ۳-۳ انرژی بستگی هسته ای



شکل ۱۶.۳ انرژی بستگی هر نوکلئون در هسته.





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation 3.0

# ادامه انرژی بستگی هسته ای

فرمول نیمه تجربی جرم



$$a_v A$$

جمله حجمی

$$B \propto A$$

زیرا در تمام موارد

$$a_s A^{2/3}$$

جمله سطحی

زیرا باید جمله متناسب با سطح از انرژی بستگی کم شود.

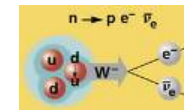
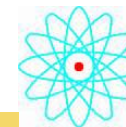
$$R \propto A^{1/3}$$

شعاع هسته

$$A^{2/3}$$

$$R^2$$

مساحت سطح هسته متناسب با



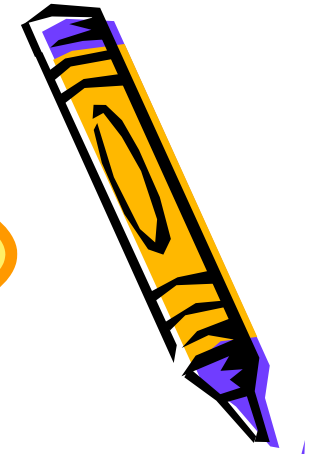


Microsoft Equation 3.0



# ادامه انرژی بستگی هسته ای

فرمول نیمه تجربی جرم



$$a_c Z (Z - 1) A^{-1/3}$$

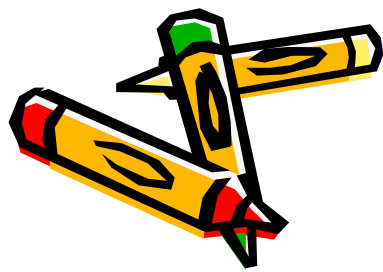
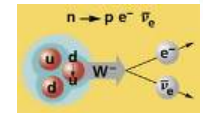
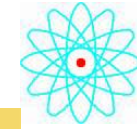
جمله کولنی

متناسب است با  $Z$

در نظر گرفتن نیروی دافعه کولنی این جمله با

برای کره بارداریکناخت نیروی کولنی =

$$-(3/5) \left( e^2 / 4\pi\epsilon_0 R_0 \right) Z (Z - 1) / A^{1/3}$$





Microsoft Equation 3.0



# ادامه انرژی بستگی هسته ای

فرمول نیمه تجربی جرم



$$a_{sym} \frac{(A - 2Z)^2}{A}$$

جمله تقارن

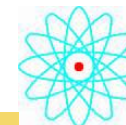
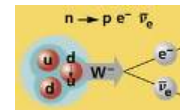


به خاطر تاثیرش در متقارن نگه داشتن هسته از لحاظ تعداد پروتونها و نوترونها



$\delta$

انرژی تزویج





Microsoft Equation 3.0



# ادامه انرژی بستگی هسته ای

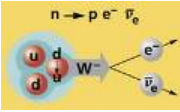
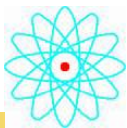
فرمول نیمه تجربی جرم



$\delta$

انرژی تزویج

- نشان دهنده تمایل نوکلئونهای مشابه به تشکیل زوج و تحکیم پیکربندی پایدار هسته ای
- برای نوکلئونهای فرد ( $Z$  فرد و  $N$  زوج، یا  $Z$  زوج  $N$  فرد)، این جمله نقشی در انرژی بستگی ندارد.







Microsoft Equation 3.0



# ادامه انرژی بستگی هسته ای

فرمول نیمه تجربی جرم



$\delta$

انرژی تزویج

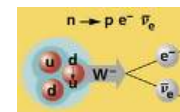
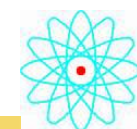
• برای  $Z$  و  $N$  هر دو فرد یا هر دو زوج این جمله نقش دارد.

$$\delta = +a_p A^{-3/4}$$

•  $Z$  و  $N$  هر دو فرد (۴ عدد در طبیعت)

$$\delta = -a_p A^{-3/4}$$

•  $Z$  و  $N$  هر دو زوج (۱۶۷ عدد در طبیعت)





Microsoft  
Equation  
3.0

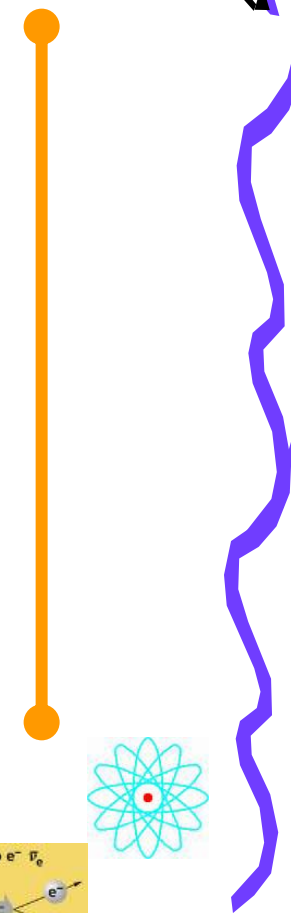
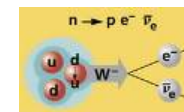


## ادامه انرژی بستگی هسته ای

فرمول نیمه تجربی جرم

فرمول کامل انرژی بستگی

$$B = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z (Z - 1) A^{-1/3} - a_{sym} \frac{(A - 2Z)^2}{A} + \delta$$



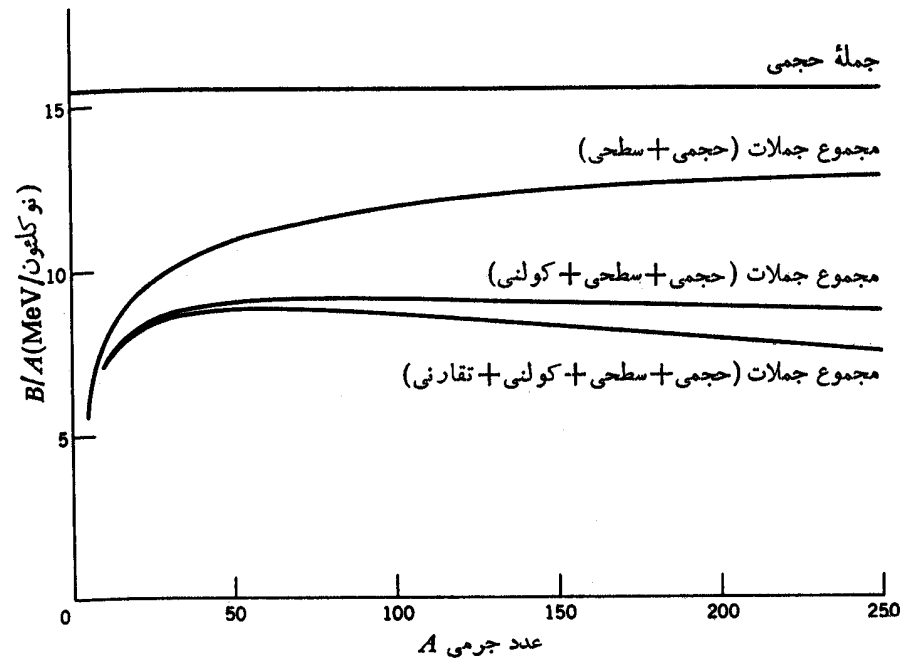


Microsoft Equation 3.0

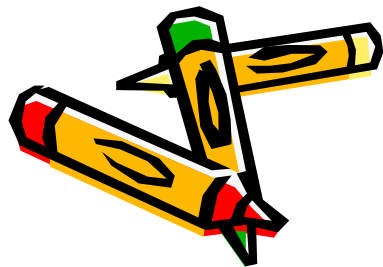
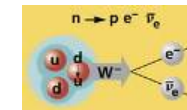
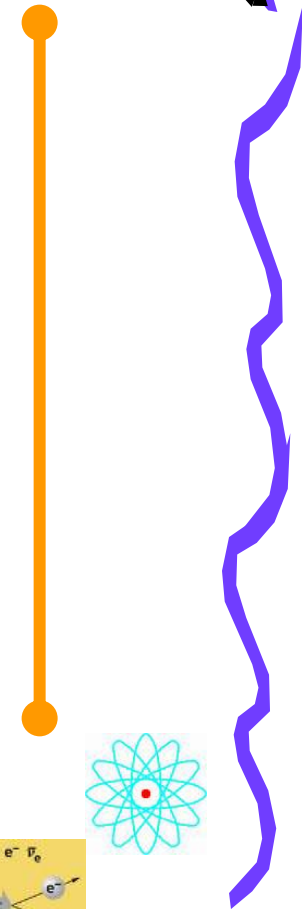


# ادامه انرژی بستگی هسته ای

## فرمول نیمه تجربی جرم



شکل ۱۷.۳ سهم هر يك از جملات موجود در فرمول نیمه تجربی جرم در بازسازی انرژی بستگی متوسط نوکلئونها.





دانشگاه پیام نور

# ادامه انرژی بستگی هسته ای



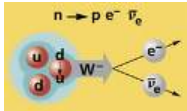
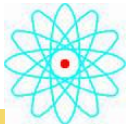
فرمول نیمه تجربی جرم

$$M(Z, A) = Zm({}^1H) + Nm_n - \frac{B(Z, A)}{c^2}$$

$$Z_{\min} = \frac{[m_n - m({}^1H)] + a_c A^{-1/3} + 4a_{\text{sym}}}{2a_c A^{-1/3} + 8a_{\text{sym}} A^{-1}}$$

$$Z_{\min} = \frac{A}{2} \frac{1}{1 + (1/4)A^{2/3} a_c / a_{\text{sym}}}$$

تعیین محل کمینه با قراردادن  $\partial M / \partial Z = 0$





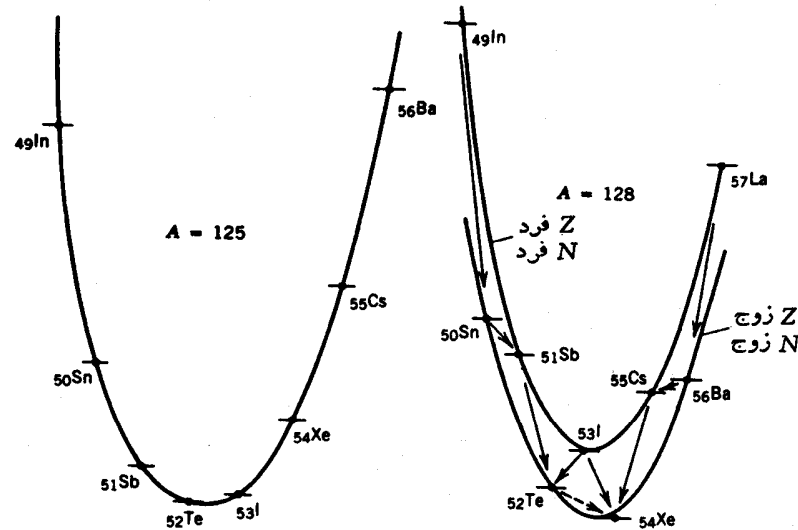
Microsoft Equation 3.0



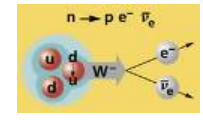
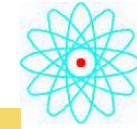
# ادامه انرژی بستگی هسته ای



زنجیره جرمی برای دودسته ایزومرهای  $A$  فرد و زوج



شکل ۱۸.۳ زنجیره‌های جرمی برای دو دسته از ایزومرهای  $A=125$  و  $A=128$ . در مورد  $A=125$  اختلاف انرژی بین ایزوتوپهای مجاور و افزایش آن، در اثر دور شدن از عضو پایدار زنجیره، درخور توجه است. در مورد  $A=128$  به تأثیر جمله تزیوپی توجه کنید. ایزوتوپ  $^{128}\text{I}$  می‌تواند به دو طریق واپاشیده شود. از نقطه نظر انرژی این امکان وجود دارد که  $^{128}\text{Te}$  در اثر فرایندی به نام واپاشی دوبتایی مستقیماً به  $^{128}\text{Xe}$  تبدیل شود.





دانشگاه پیام نور

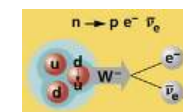
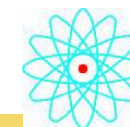
## ادامه انرژی بستگی هسته ای



پیش بینی دوخاصیت غیر عادی با توجه به حضور دو سهمی در واپاشیهای با  $A$  زوج (در واپاشیهای با  $A$  فرد دیده نمی شود).

۱. هسته های  $Z$  فرد و  $N$  فرد می توانند به هردو روش تبدیل نوترون به پروتون یا تبدیل پروتون به نوترون واپاشیده شوند.

۲. بعضی از واپاشیهای دو بتایی که در آنها در اثر واپاشی ۲ پروتون به ۲ نوترون تبدیل می شوند نیز از نقطه نظر انرژی امکان پذیر است.





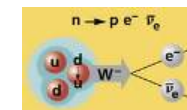
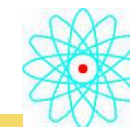
دانشگاه پیام نور

## ۳-۴ تکانه زاویه ای هسته ها و پارته

اسپین هسته: تکانه زاویه ای کل را معمولا اسپین هسته می گویند.

$$I_z = m h (m = -I, \dots, +I)$$

$$I^2 = h^2 I (I + 1)$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه تکانه زاویه ای هسته ها و پارته

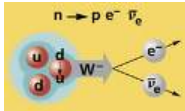
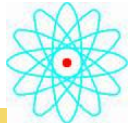


اثر هسته ای زیمان

شکافتگی حالت  $I$  به تعداد  $2I + 1$  حالت در میدانهای مغناطیسی:

$$m = -I, -I + 1, \dots, I - 1, I$$

در سرتاسر کتاب اسپین هسته با نماد  $I$  و تکانه زاویه ای کل یک نوکئون منفرد با نماد  $J$  نشان داده شده است.







دانشگاه پیام نور

## ادامه تکانه زاویه ای هسته ها و پارته



تعیین خواص هسته:

تعیین تمام خواص هسته توسط یک تک ذره ظرفیت ،  $I=J$ .

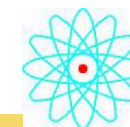
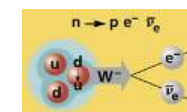
در سایر موارد ممکن است دو ذره ظرفیت در نظر گرفته شود.

$$I = j_1 + j_2 \quad \text{، در این حالت ،}$$

در پاره ای موارد ذره منفرد و قلب حاصل از هسته های باقیمانده در تعیین خواص هسته نقش دارند ،

در این حالت ،

$$I = j_p + j_c$$







دانشگاه پیام نور

## ادامه تکانه زاویه ای هسته ها و پاریته



مقادیر مجاز  $I$ :

قاعده:

در هسته های  $A$  فرد: نیم درست  $I =$

در هسته های  $A$  زوج: درست  $I =$

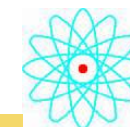
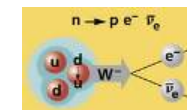
پاریته: مورد نیاز برای مشخص کردن حالت های هسته

پاریته فرد یا زوج است.

پاریته را به صورت خصوصیت جمعی هسته در نظر می گیریم.

روش نشان دادن پاریته:

$I^\pi$  مثال:  $(5/2)^+, (1/2)^-, 2^-, 0^+$





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation  
3.0

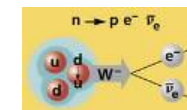
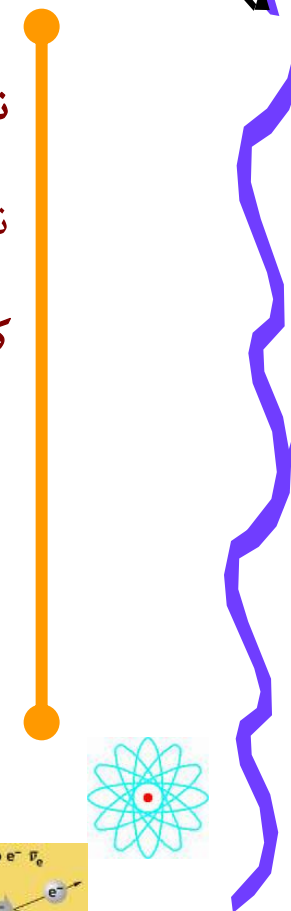
## ۳-۵ گشتاور الکترومغناطیسی هسته

نظم هسته ای:

نظم هسته ای از برهم کنش قوی هسته ای حاصل می شود.

کاوش هسته ای:

وسیله کاوش در توزیع نوکلئونها ، برهم کنش الکترومغناطیسی است.





دانشگاه پیام نور

# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



## گشتاورها:

نسبت دادن گشتاور های چند قطبی به وابستگیهای فضایی ،

$$1/r^2$$

به میدان الکتریکی ←

گشتاور مرتبه صفر یا تک قطبی

$$1/r^3$$

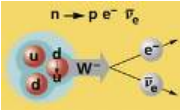
به میدان مغناطیسی ←

گشتاور مرتبه اول یا دو قطبی

$$1/r^4$$

به میدان الکتریکی ←

گشتاور مرتبه دوم یا چارقطبی





دانشگاه پیام نور

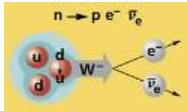
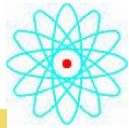
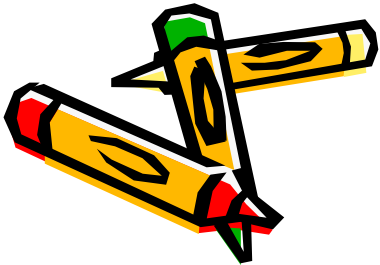
# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



عوامل تولید چند قطبی ها:

- توزیع کروی بار الکتریکی
- فقط میانه قطبی (کولنی)
- یک حلقه از جریان دایره ای
- فقط قطب مغناطیسی

برای مشخص کردن خواص الکترومغناطیسی هسته ، معمولاً به اندازه گیری یا محاسبه پایینترین مرتبه گشتاورها اکتفا می شود.





دانشگاه پیام نور

# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



شرط دیگر محدودکننده گشتاورهای چند قطبی:

تقارن هسته که مستقیماً به پاریته حالتها بستگی دارد.

پاریته چند قطبی الکترومغناطیسی:

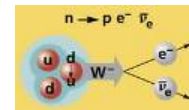
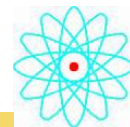
پیروی پاریته گشتاورهای الکتریکی از عدد نمایی

$$(-1)^L$$

$L$  مرتبه گشتاور است ( برای تک قطبی  $L=0$  ، برای دو قطبی  $L=1$  ، برای چار قطبی  $L=2$  )

پیروی پاریته گشتاورهای مغناطیسی از عدد نمایی

$$(-1)^{L+1}$$





# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



گشتاور الکتریکی تک قطبی = بار هسته ای  $Ze$

گشتاور دو قطبی مغناطیسی

$$|\mu| = \frac{e}{(2\pi r / v)} \pi r^2 = \frac{evr}{2} = \frac{e}{2m} |l|$$

$|l|$  تکانه زاویه ای کلاسیک بار متحرک یا  $mvr$  است.

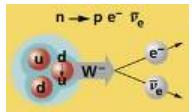
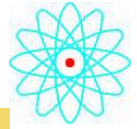
بجای مقدار انتظاری آن را نسبت به محوری که تصویر بردار تکانه روی آن بزرگترین مقدار یعنی

است ( ) قرار می دهیم. نتیجه  $m_l$  می شود  $m_l = +1$

$$\mu = \frac{eh}{2m} l$$

$$\frac{eh}{2m}$$

مگنتون هسته ای:







Microsoft Equation 3.0

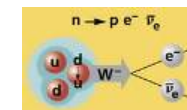
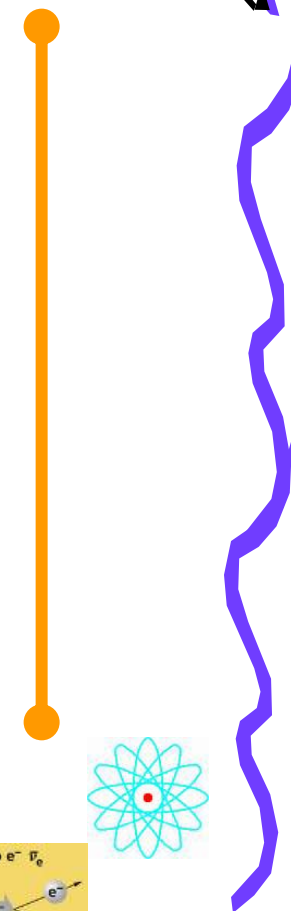


## ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته

جدول ۲.۳ چند نمونه از مقادیر گشتاور دو قطبی مغناطیسی.

نوکلید	$\mu(\mu_N)$
n	-۱.۹۱۳۰۴۱۸
p	+۲.۷۹۲۸۴۵۶
${}^2\text{H(D)}$	+۰.۸۵۷۴۳۷۶
${}^{17}\text{O}$	-۱.۷۸۹۳۷۹
${}^{57}\text{Fe}$	+۰.۷۰۹۰۶۲۲۹۳
${}^{57}\text{Co}$	+۲.۷۳۳
${}^{93}\text{Nb}$	+۶.۱۷۵۵

تمام مقادیر به حالت‌های پایه در هسته‌ها مربوط می‌شوند. عدم قطعیت این مقادیر نوعاً به چند قسمت از آخرین ارقام محدود می‌شود.





Microsoft Equation 3.0



# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



$$\mu = g_l l \mu_N$$

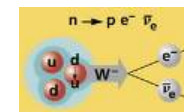
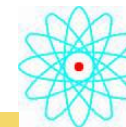
ضریب  $g$

ضریب  $g_l$  وابسته به تکانه زاویه ای مداری  $l$

$$\mu = g_s S \mu_N$$

گشتاور مغناطیسی ذاتی یا اسپینی

ضریب اسپینی  $g_s$  حاصل از حل معادله نسبیتی مکانیک کوانتومی





Microsoft Equation 3.0



# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



برای پروتون ،  $g_l = 1$

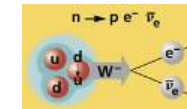
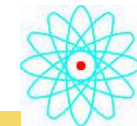
برای نوترون چون فاقد بار است  $g_l = 0$

برای الکترون با اسپین  $1/2$  ،  $g_s = 2$  ، سازگار با مقدار اندازه گیری شده آن  $2.0032$  =

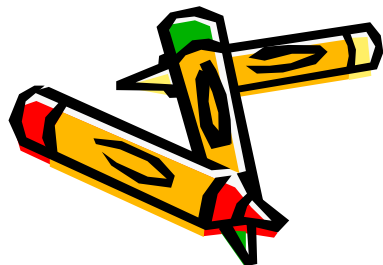
مقدار انتظاری برای نوترون و پروتون آزاد ،  $g_s = 2$

مقادیر تجربی: برای پروتون  $2.00115162 \pm 0.00000005$  =

برای نوترون  $1.82581837 \pm 0.00000003$  = -



$g_s$   
 $g_s$





## ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته

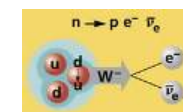
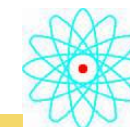


در نظریه های امروزی نوکلئونهای از سه کوارک است.

تاثیر نوکلئونهای تزویج شده:

نیروی تزویج در هسته ها ، جفت شدگی میان نوکلئونها را چنان تنظیم می کند که برابری تکانه های زاویه ای مداری و اسپینی هر زوج برابر صفر شود.

پس نوکلئونهای تزویج شده سهمی در گشتاور مغناطیسی ندارند و فقط نوکلئونهای ظرفیت را در نظر می گیریم.





دانشگاه پیام نور

# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



گشتاور چارقطبی الکتریکی

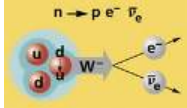
گشتاور چارقطبی  $eQ$  یک ذره بار دار کلاسیک

$$e(3z^2 - r^2)$$

گشتاور چار قطبی الکتریکی یک پروتون منفرد در مکانیک کوانتومی

$$eQ = e \int \psi^* (3z^2 - r^2) \psi dv$$

گشتاور چار قطبی الکتریکی نوترونی که در یک مدار حرکت می کند صفر است.





دانشگاه پیام نور

# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



در نظر می گیریم  منهای ظرفیت نزدیک سطح

در این صورت  $r = R_0 A^{1/3}$

$$|eQ| \leq eR_0^2 A^{2/3}$$

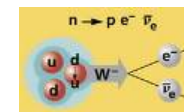
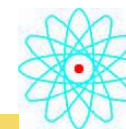
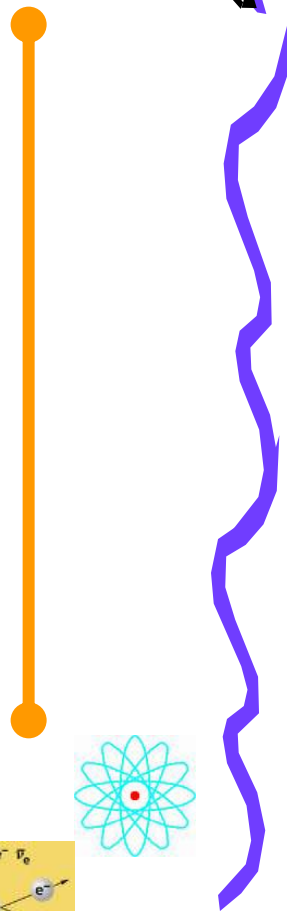
با این برآورد گشتاور چارقطبی می شود

$$6 \times 10^{-30} \text{ em}^2$$

برای هسته های سبک =

$$50 \times 10^{-30} \text{ em}^2$$

برای هسته های سنگین =



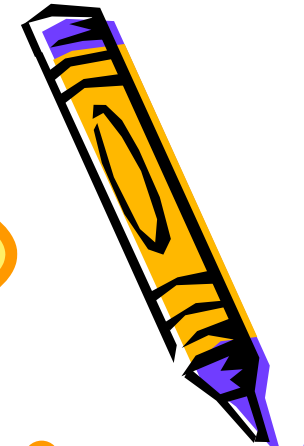


دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation 3.0

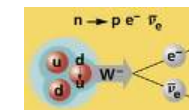
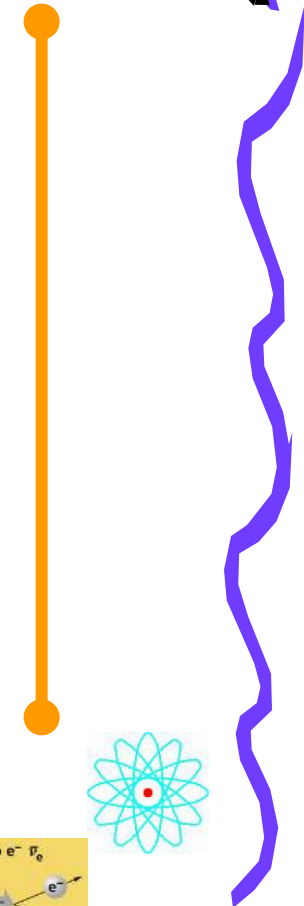
# ادامه گشتاور الکترومغناطیسی هسته



جدول ۳.۳ چند نمونه از مقادیر گشتاور چارکطبی الکتریکی.

نوکلید	$Q(b)$
${}^2\text{H(D)}$	+۰.۰۰۰۲۸۸
${}^{17}\text{O}$	-۰.۰۰۲۵۷۸
${}^{59}\text{Co}$	+۰.۰۴۰
${}^{63}\text{Cu}$	-۰.۰۲۰۹
${}^{133}\text{Cs}$	-۰.۰۰۰۳
${}^{161}\text{Dy}$	+۰.۲۰۲
${}^{176}\text{Lu}$	+۰.۸۰
${}^{209}\text{Bi}$	-۰.۰۳۷

تمام مقادیر به حالت‌های پایه هسته‌ها مربوط می‌شوند. عدم قطعیتها در این مقادیر نوعاً به چند قسمت از آخرین ارقام محدود است.





Microsoft  
Equation  
3.0



## ۳-۶ حالت‌های برانگیخته هسته



شناخت ساختار هسته با استفاده از حالت‌های برانگیخته هسته ای.

استفاده از حالت‌های برانگیخته هسته ای:

به کمک آن می توان بعضی از خصوصیات مدترهای نوکلئونی در هسته را نشان داد.

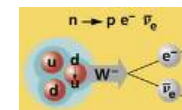
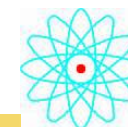
ایجاد حالت برانگیخته:

با افزودن انرژی به قلب نوکلئونهای تزویج شده در هسته ها.

مصرف انرژی برانگیختگی:

- تبدیل به نوسانات یا دوران جمعی در کل قلب هسته.

- مصرف برای شکستن یکی از زوجهای نوکلئونی.







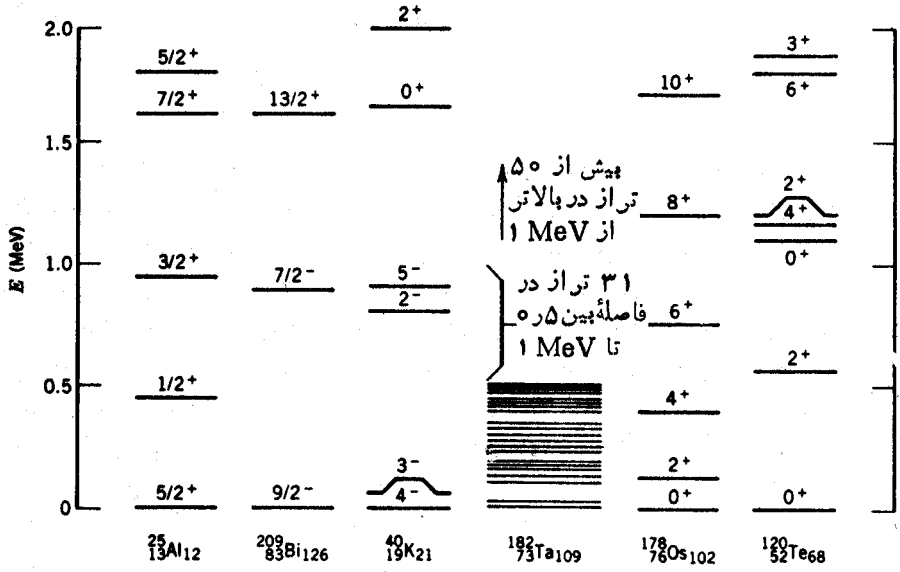
Microsoft Equation 3.0



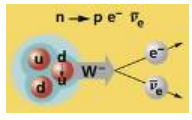
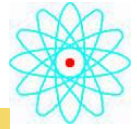
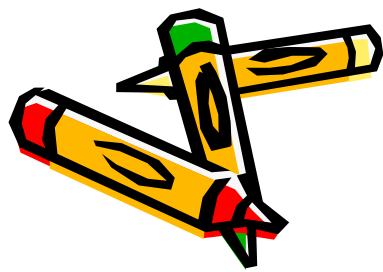
# ادامه حالت‌های برانگیخته هسته



نمونه نمودارهای حالت‌های برانگیخته



شکل ۱۹۰۳ چند نمونه از نمودارهای حالت‌های برانگیخته پایینتر از ۲ MeV. حالت‌های برانگیخته در بعضی هسته‌ها مانند  $^{209}\text{Bi}$  خیلی ساده است، در حالی که در برخی دیگر از هسته‌ها مانند  $^{182}\text{Ta}$  خیلی پیچیده است. نظم‌ی که در ترازهای  $^{178}\text{Os}$  دیده می‌شود، در تمام هسته‌های زوج-زوج (Z و N هر دو زوج) موجود در گستره  $150 \leq A \leq 190$  تکرار می‌شود. ساختار مشابه  $^{120}\text{Te}$  هم در بسیاری از هسته‌های موجود در گستره  $50 \leq A \leq 150$  تکرار می‌شود.





دانشگاه پیام نور

## فصل ۶: واپاشی هسته ای و رادیواکتیویته



۱-۶ واپاشی رادیواکتیو

۲-۶ قانون واپاشی رادیواکتیو

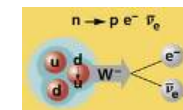
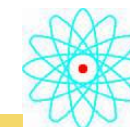
۳-۶ تولید و واپاشی عناصر رادیواکتیو

۴-۶ رشد رادیواکتیویته دختر- هسته

۵-۶ انواع واپاشیها

۶-۶ رادیواکتیویته طبیعی

۷-۶ آمار کوانتومی



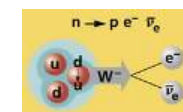
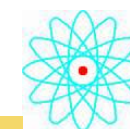


دانشگاه پیام نور

## خلاصه فصل ۶: واپاشی هسته ای و رادیو اکتیویته



در اثر واپاشی کانیهای طبیعی حاوی اورانیم و توریم ، پرتوزایی طبیعی ایجاد می شود. علاوه بر پرتوزایی یا رادیو اکتیویته طبیعی ، هسته های رادیو اکتیو به طور مصنوعی نیز در آزمایشگاه تولید می شود. در این بخش به بحث و بررسی در مورد این پدیده فیزیکی و مطالعه قوانین حاکم بر آن و یکاهای تابش می پردازیم.



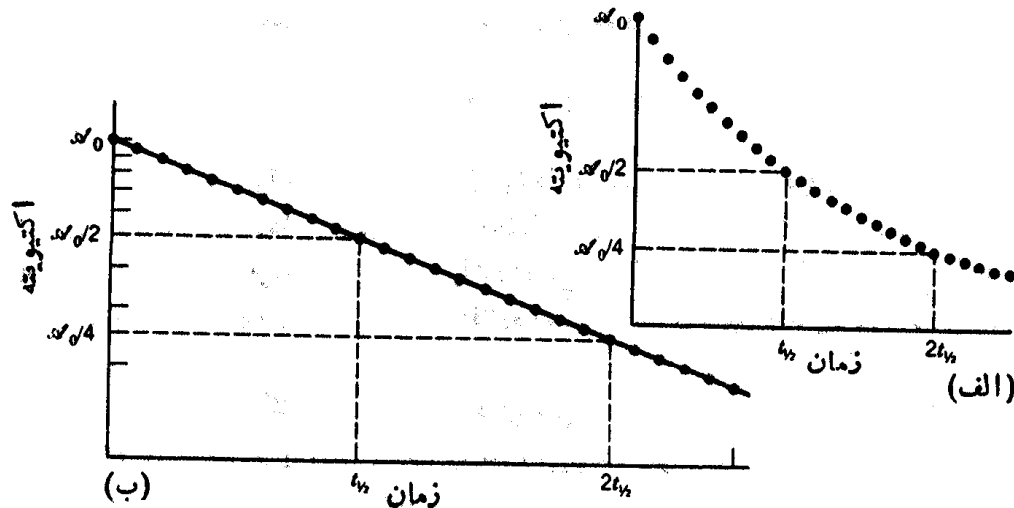


دانشگاه پیام نور

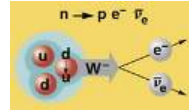
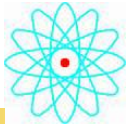
# ۱-۶ قانون واپاشی رادیواکتیو



آهنگ واپاشی یک ماده پرتوزای خالص باگذشت زمان طبق یک قانون نمایی کاهش می یابد.



شکل ۱-۶ واپاشی نمایی اکتیویته. (الف) نمودار خطی. (ب) نمودار نیمه لگاریتمی.





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation 3.0

# ۱-۶ قانون واپاشی رادیواکتیو



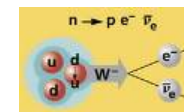
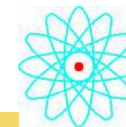
بر اساس تناسب بین آهنگ واپاشی هسته با تعداد هسته ها

$$\lambda = -\frac{(dN / dt)}{N}$$

$\lambda$  ثابت واپاشی است.

قانون نمایی رادیو اکتیو (تعداد هسته های موجود)

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





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation 3.0

# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



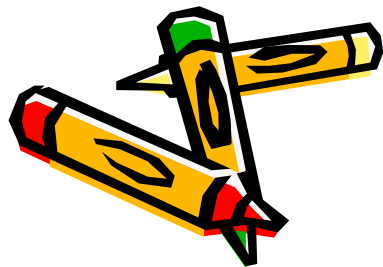
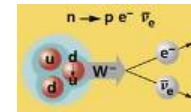
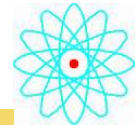
$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t \left| \frac{dN}{dt} \right| dt}{\int_0^{\infty} \left| \frac{dN}{dt} \right| dt}$$

← تعداد کل:  $\int_0^{\infty} \left| \frac{dN}{dt} \right| dt$

← عمر کل:  $\int_0^{\infty} t \left| \frac{dN}{dt} \right| dt$

نیمه عمر





Microsoft Equation  
3.0



## ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

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

عمر متوسط

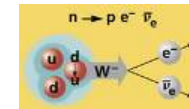
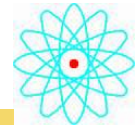
$$\Delta t = t \frac{1}{2}$$

زمان شمارش:

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



عمر متوسط

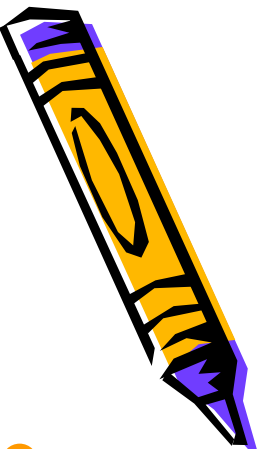




Microsoft Equation 3.0



# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



رابطه در حد دیفرانسیلی

$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

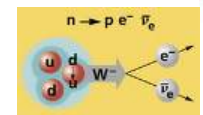
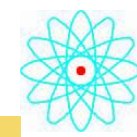
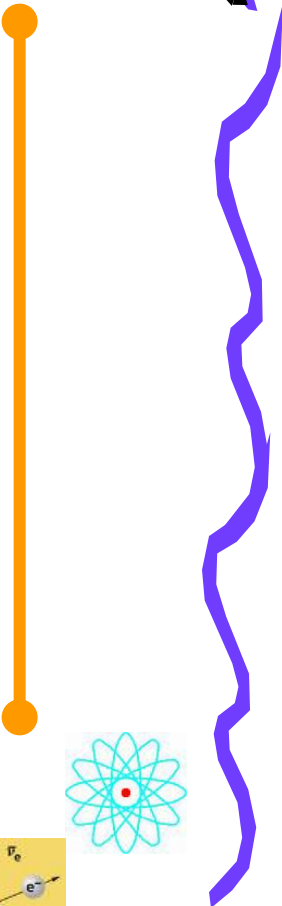
$A_0 = \lambda N$

تعریف فعالیت یا اکتیویته

$$A(t) \equiv \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

اکتیویته اولیه در  $t=0$  برابر

$$A_0 = \lambda N$$







دانشگاه پیام نور

# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



اندازه گیری تعداد شمارشها ی در فاصله  $\Delta N$  ، در صورتی اکتیویته نهاده را به دست می دهد که باشد.  
$$\Delta t = t_{1/2}$$

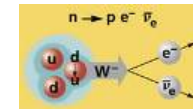
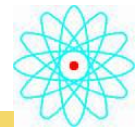
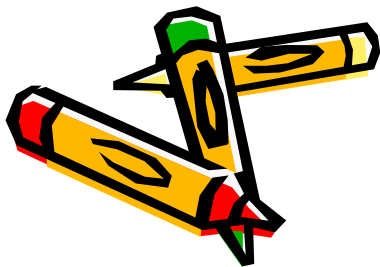
تعداد واپاشیها در فاصله زمانی و  $t_2$   $t_1$   
$$\Delta N = \int_{t_1}^{t_2=t_1+\Delta t} A dt$$

یکای اکتیویته در دستگاه SI یک واپاشی در ثانیه است  
که بکرل (Bq) نامیده می شود.

یکای دیگر آن کوری است که عبارتست از

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10}$$

۱ بکرل = واپاشی در ثانیه





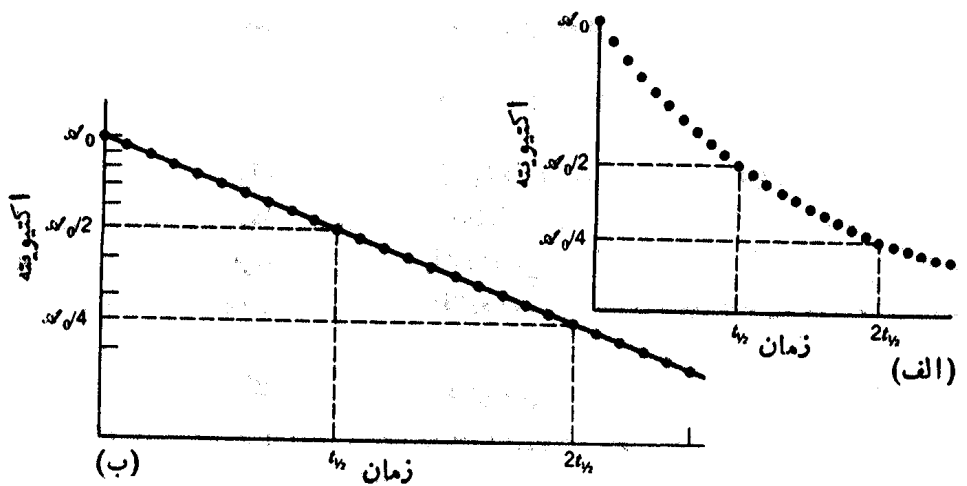
دانشگاه پیام نور

# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو

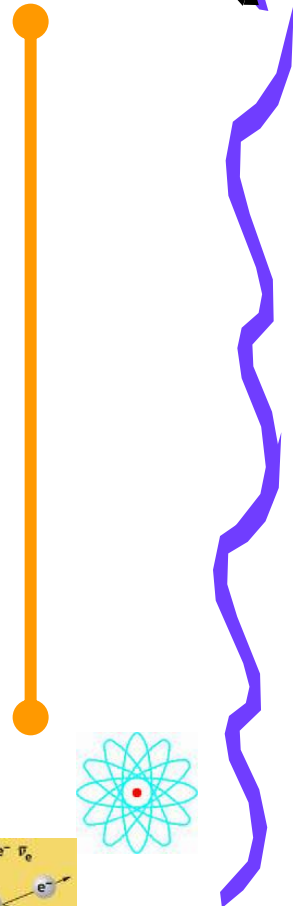
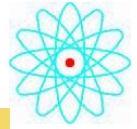
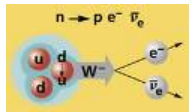
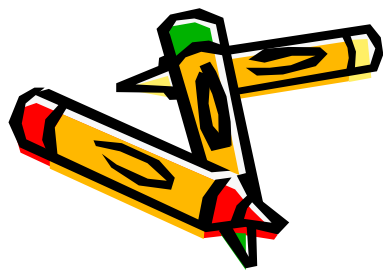


روش تعیین نیمه عمر:

با ترسیم تغییرات اکتیویته بر حسب زمان شمارش ( با شمارش تعداد واپاشیها در یک رشته فواصل زمانی کوتاه ) خط راستی با شیب  $-\lambda$  به دست می آید که از آن نیمه عمر به دست می آید.



شکل ۱۰۶ واپاشی نمایی اکتیویته. (الف) نمودار خطی. (ب) نمودار نیمه لگاریتمی.





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation  
3.0

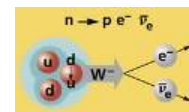
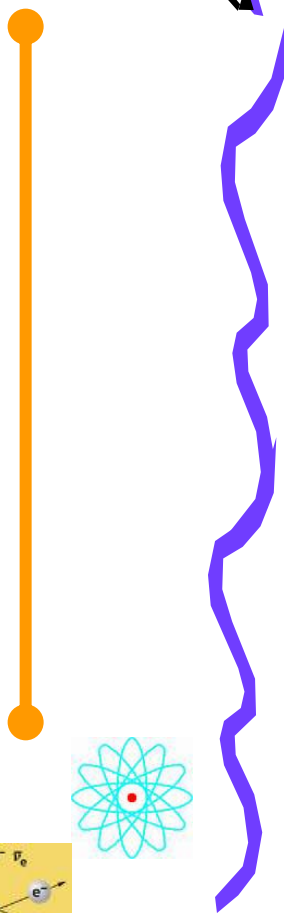
# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



تعداد هسته های موجود در هسته:

$$N_1 = N_0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = N_0 (1 - e^{-\lambda_1 t})$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



تعیین اکتیویته برای نیمه عمرهای بلند:

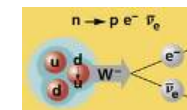
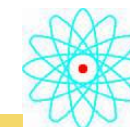
$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

• استفاده از رابطه

• اندازه گیری  $\frac{dN}{dt}$

• تعیین تعداد اتمها (مثلا به روش وزن کردن نمونه با دانستن ترکیب شیمیایی آن)

• تعیین اکتیویته برای نیمه عمرهای کوتاه (کوتاهتر از یک ثانیه) از روش دیگری که در فصل ۷ بیان شده صورت می گیرد.





Microsoft Equation 3.0



# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



نکته مهم: قانون ساده واپاشی فقط در شرایط محدودی به کار می رود.  
در این شرایط مقدار معینی از یک ماده اولیه به یک عنصر پایدار نهایی واپاشیده می شود.

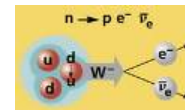
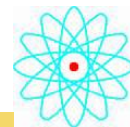
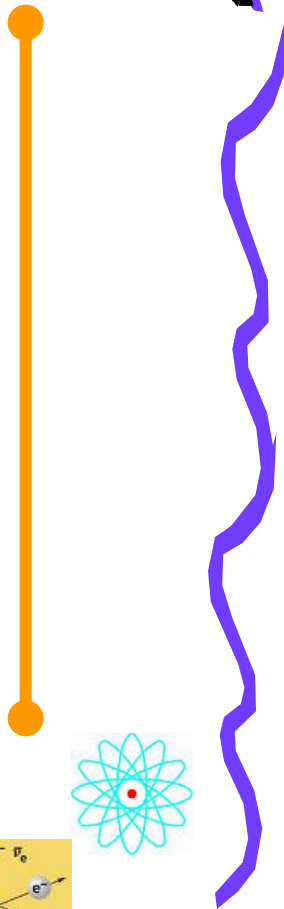
$$N_1 = N_0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = N_0 (1 - e^{-\lambda_1 t})$$

$$N_1 - N_2 = N_0$$

تعداد هسته های موجود در هسته:

تعداد کل هسته ها ثابت است.





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation  
3.0

# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



واپاشی به دو یا چند طریق:

هسته نهایی شامل دو هسته نهایی یا بیشتر است.

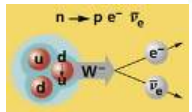
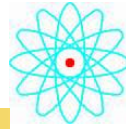
برای دو حالت **a** و **b**

$$\lambda_a = (dN / dt)_a$$

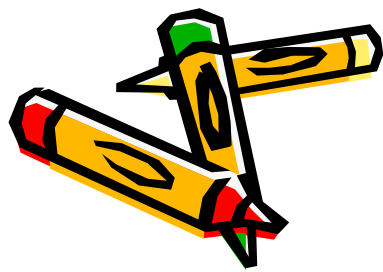
ثابت واپاشی جزئی

$$\lambda_b = (dN / dt)_b$$

و ثابت واپاشی جزئی



$$\lambda_a = -\frac{(dN / dt)_a}{N} \quad \lambda_b = -\frac{(dN / dt)_b}{N}$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



آهنگ واپاشی کل:

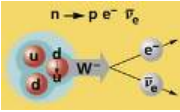
$$-\left(\frac{dN}{dt}\right)_t = -\left(\frac{dN}{dt}\right)_a - \left(\frac{dN}{dt}\right)_b = N (\lambda_a + \lambda_b) = N \lambda_t$$

$$\lambda_t = \lambda_a + \lambda_b$$

ثابت واپاشی کل

هسته ها طبق رابطه ساده واپاشی واپاشیده می شوند .

با شمارش تابشهای منجر به حالت‌های نهایی **a** و **b** فقط ثابت واپاشی کل مشاهده می شود.





دانشگاه پیام نور

# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو



تعداد هسته های موجود اولیه:

$$N_1 = N_0 e^{-\lambda_1 t}$$

$\alpha$

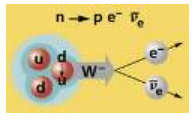
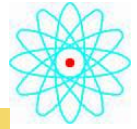
تعداد هسته های موجود اولیه حاصل از فروپاشی درصد :

$$N_{2.a} = \left(\frac{\lambda_a}{\lambda_1}\right) N_0 (1 - e^{-\lambda_1 t})$$

$b$

تعداد هسته های موجود اولیه حاصل از فروپاشی درصد :

$$N_{2.a} = \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_1}\right) N_0 (1 - e^{-\lambda_1 t})$$







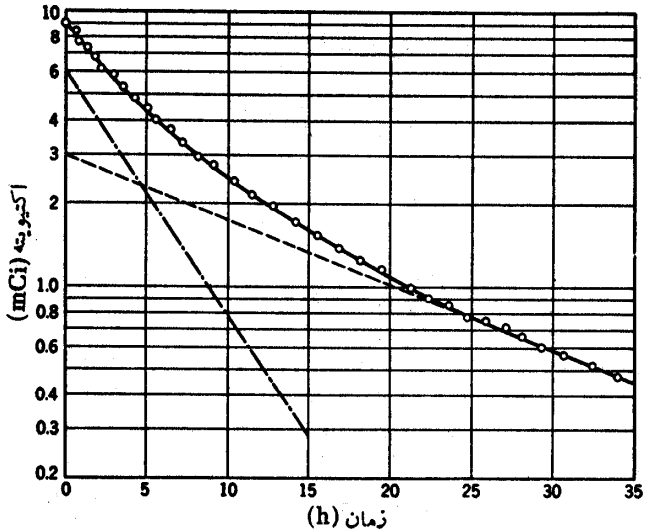
دانشگاه پیام نور

# ادامه قانون واپاشی رادیواکتیو

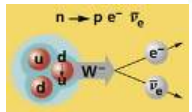
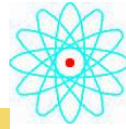
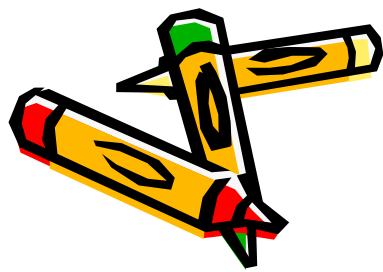


واپاشی مخلوط چند ماده رادیواکتیو:

محل برخورد هر یک از خطوط با محور قایم ، شمارش اولیه را می دهد.



شکل ۴.۶ منحنی واپاشی نمونه‌ای که حاوی مخلوطی از  $^{64}\text{Cu}$  (۱۲.۷ h) و  $^{63}\text{Cu}$  (۳.۴ h) است.





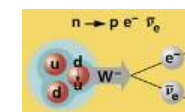
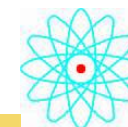
دانشگاه پیام نور

## ۳-۶ تولید و واپاشی عناصر رادیواکتیو



مراحل کار پرتو دهی نمونه ها:

۱. پرتو دهی یک نمونه در یک راکتور یا شتابدهنده مانند سیکلوترون
۲. تولید هسته های رادیواکتیو
۳. واپاشی هسته های رادیواکتیو تولید شده ، هم زمان با تولید آنها
۴. خارج کردن نمونه از راکتور یا شتابدهنده (خاتمه تابش دهی)
۵. واپاشی نمونه اکتیو شده با ثابت تلاشی معین





دانشگاه پیام نور

# ادامه تولید و واپاشی عناصر رادیواکتیو



باتقریب خوب هسته های هدف ثابت است.

آهنگ تولید هسته رادیو اکتیو

$$R = N_0 \sigma I$$

$$dN_1 = R dt - \lambda_1 N_1 dt$$

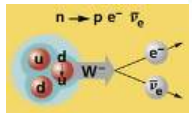
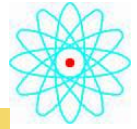
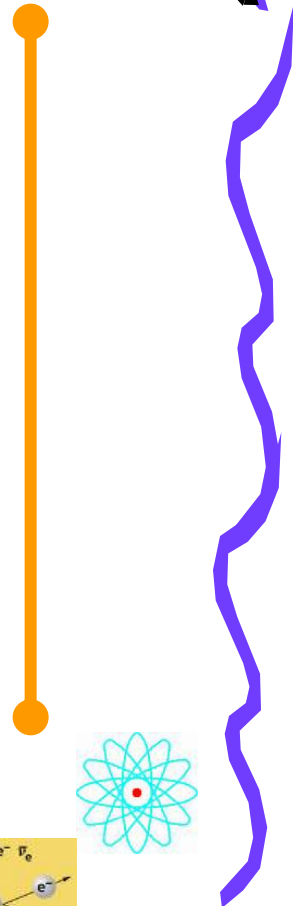
تولید و واپاشی هسته ها (موازنه هسته ها)

$$N_1(t) = \frac{R}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t})$$

حل معادله فوق

$$A_1(t) = \lambda_1 N_1(t) = R (1 - e^{-\lambda_1 t})$$

اکتیویته نمونه





دانشگاه پیام نور

# ادامه تولید و واپاشی عناصر رادیواکتیو



زمان پرتودهی نسبت به نیمه عمر کوتاه است:

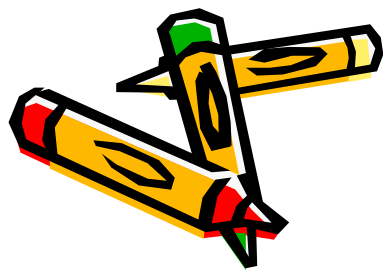
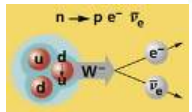
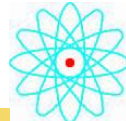
$$A_1(t) \cong R \lambda_1 t \rightarrow t = t_{1/2}$$

افزایش اکتیویته خطی است.

زمان پرتودهی نسبت به نیمه عمر طولانی است:

$$A_1(t) \cong R \rightarrow t = t_{1/2}$$

اکتیویته ثابت است.





دانشگاه پیام نور

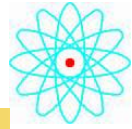
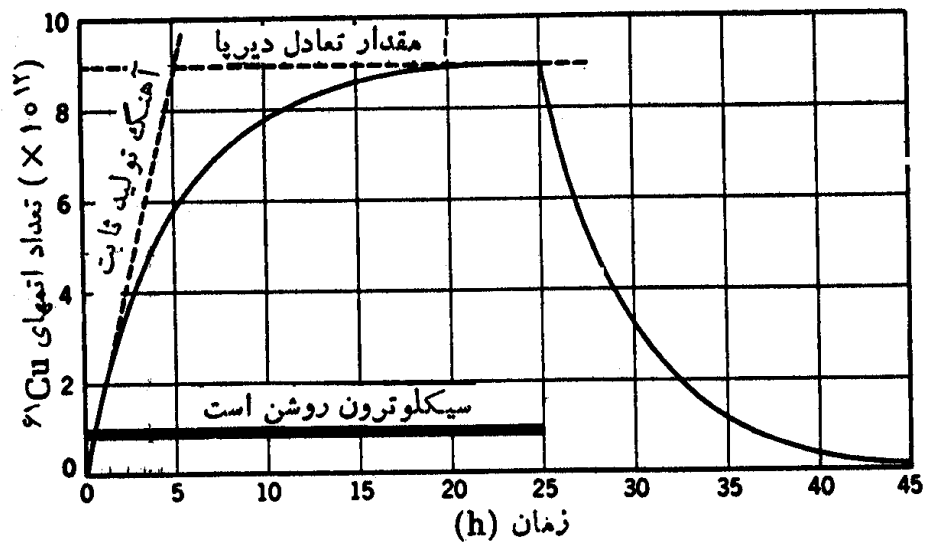


Microsoft Equation 3.0

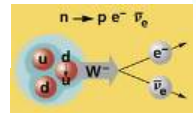
# ادامه تولید و واپاشی عناصر رادیواکتیو



نمودار تغییرات تعداد اتمهای مس تولید شده در هدف نیکل در اثر بمباران توسط دوترونها در سیکلوترون.



شکل ۵.۶ نمودار تعداد اتمهای رادیواکتیو  $^{64}\text{Cu}$  موجود در هدف Ni در طول مدت بمباران توسط دوترونهای يك سیکلوترون، و در زمان پس از قطع بمباران.





# ۴-۶ رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



بررسی واپاشی های رادیواکتیوی که منجر به تولید زنجیره ای از هسته های رادیواکتیو می شود.

فرض: در  $t=0$  تعداد هسته های مادر برابر و هیچ محصول واپاشی وجود ندارد.

$$N_1(t = 0) = N_0$$

$$N_2(t = 0) = N_3(t = 0) = \dots = 0$$

$$dN_1 = -\lambda_1 N_1 dt$$

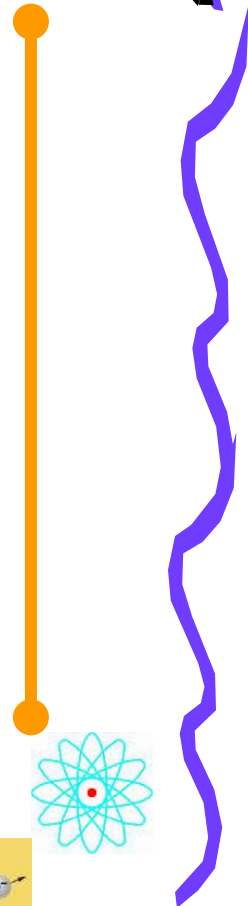
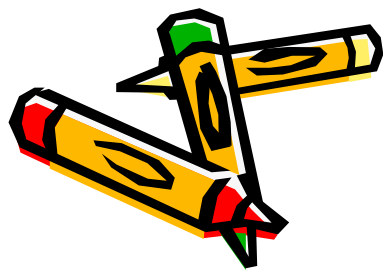
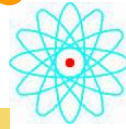
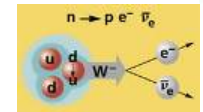
$$dN_2 = \lambda_1 N_1 dt - \lambda_2 N_2 dt$$

$$N_1(t) = N_0 e^{-\lambda_1 t}$$

تغییرات هسته های مادر

تغییرات هسته های دختر

تعداد هسته های مادر





دانشگاه پیام نور

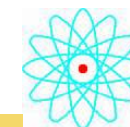
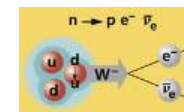
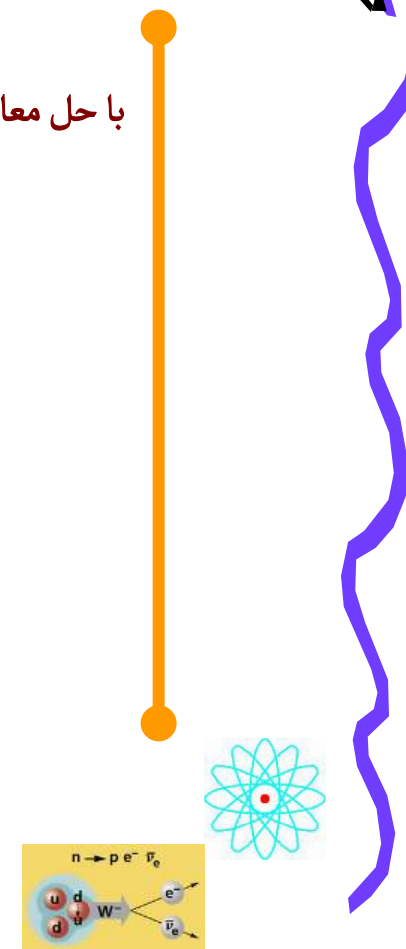
## ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



با حل معادله دیفرانسیل و در نظر گرفتن شرایط اولیه ، نتیجه می شود:

$$N_2(t) = N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$A_2(t) \equiv \lambda_2 N_2(t) = N_0 \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$





Microsoft Equation 3.0



# ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



حالت  $\lambda_1 = \lambda_2$  عمر میانگین خیلی طولانی است.

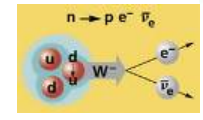
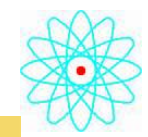
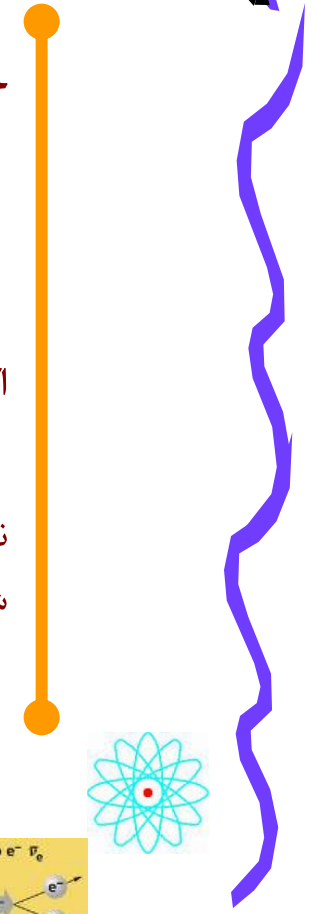
$$N_2(t) \cong N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

$$A_2 \rightarrow N_0 \lambda_1$$

اکتیویته

نمونه ای از تعادل دیرپا است که با بزرگ شدن  $\dagger$  آهنگ واپاشی هسته ۲ با آهنگ تولید آن برابر می شود:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$







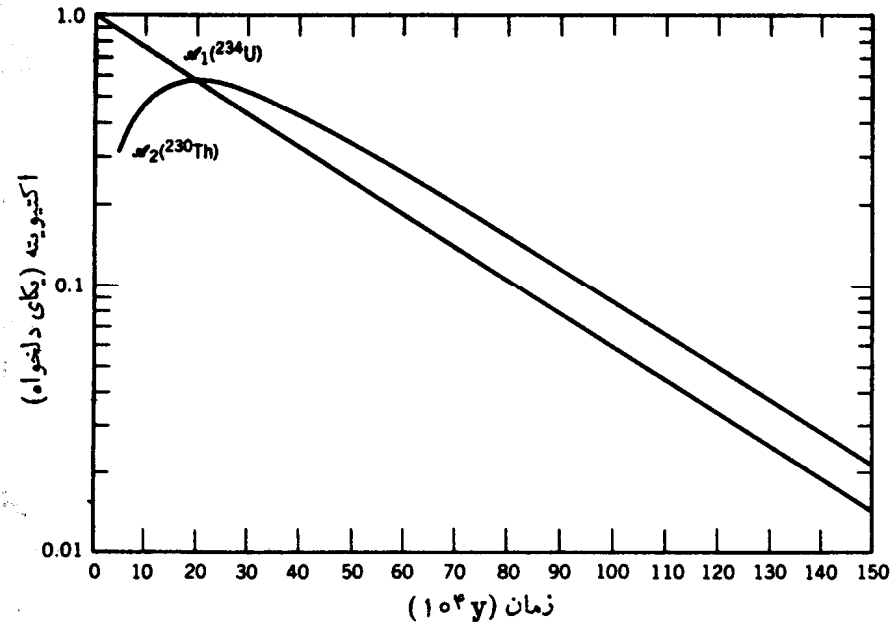
Microsoft Equation 3.0



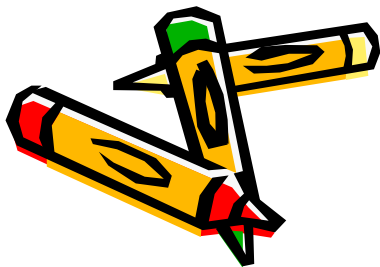
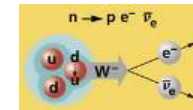
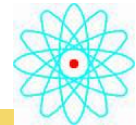
# ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



تعداد دیرپا:



شکل ۷.۶ مغالی از تعادل در واپاشی  $^{234}\text{U}$  ( $2.45 \times 10^5 \text{ y}$ ) به  $^{230}\text{Th}$  ( $8.0 \times 10^4 \text{ y}$ ). نسبت  $A_2/A_1$  به سمت مقدار ثابت ۱.۴۸ میل می کند.





دانشگاه پیام نور

# ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



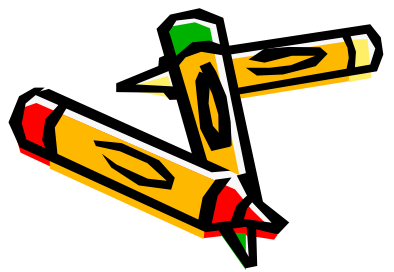
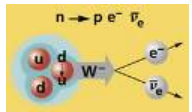
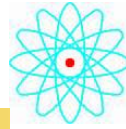
حالت  $\lambda_1 < \lambda_2$

$$\frac{\lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t})$$

$$\lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1)$$

نسبت  $A_2/A_1$  به سمت چپ

نمونه تعادل گذرا است.



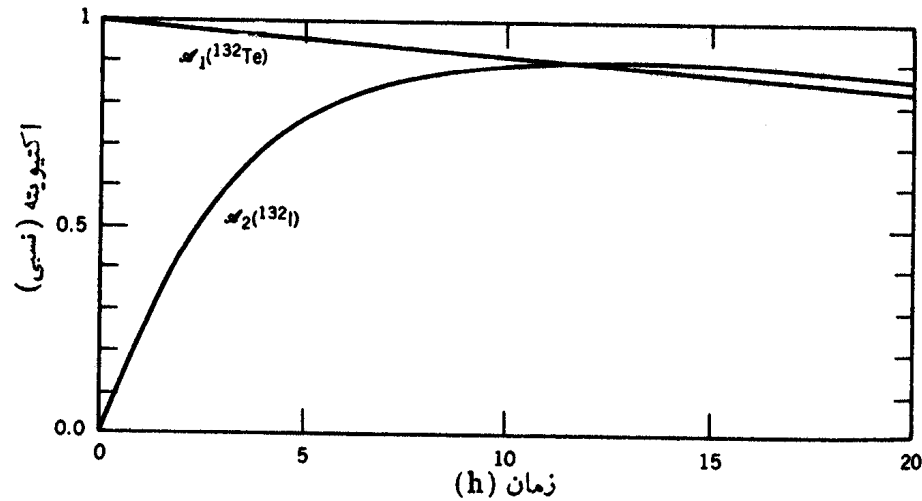


دانشگاه پیام نور

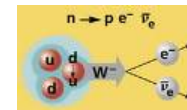
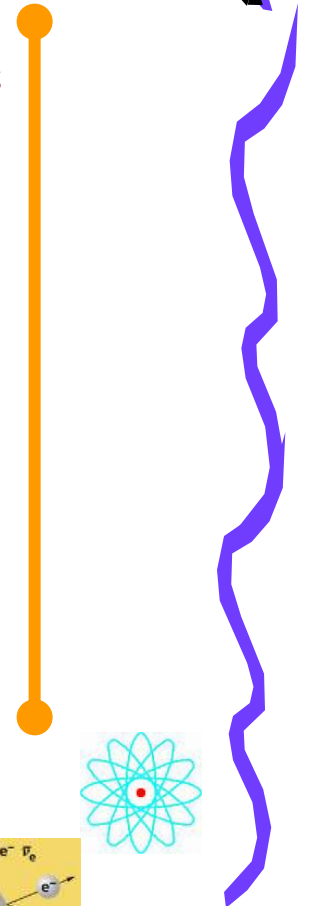
# ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



تعادل گذرا:



شکل ۶.۶ در واپاشی  $^{132}\text{Te}(78\text{ h}) \rightarrow ^{132}\text{I}(2.28\text{ h}) \rightarrow ^{132}\text{Xe}$  پس از تقریباً ۱۲ ساعت تعادل دیرپا حاصل می شود.





دانشگاه پیام نور

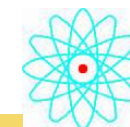
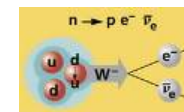
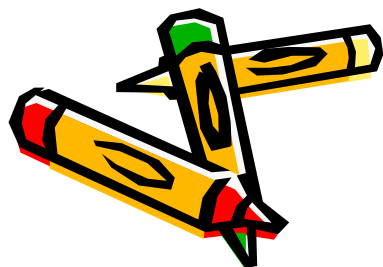
## ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته

حالت  $\lambda_1 > \lambda_2$

مادر به سرعت واپاشیده می شود ، اکتیویته دختر پس از رسیدن به مقدار بیشینه با ثابت واپاشی خاص خود کاهش می یابد.

تعداد هسته های ۱ ناچیز است.

$$N_2(t) \cong N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t}$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



سری های واپاشی

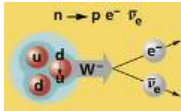
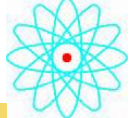
تعمیم معادله دو هسته ای به چند نسل متوالی

$$dN_i = \lambda_{i-1} N_{i-1} dt - \lambda_i N_i dt$$

با فرض اینکه در ابتدا به جز هسته نوع ۱ هسته دیگری نباشد ، با استفاده از معادلات باتمان نتیجه می شود

$$A_n = N_0 \sum_{i=1}^{\pi} c_i e^{-\lambda_i t} =$$

$$N_0 (c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + c_n e^{-\lambda_n t})$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه رشد رادیواکتیویته دختر- هسته



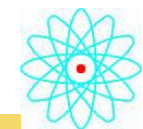
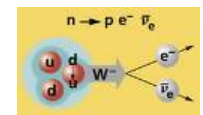
ضرایب رابطه اخیر از عبارت زیر به دست می آید

$$C_m = \frac{\prod_{i=1}^{\pi} \lambda_i}{\prod_{i=1}^{\pi} (\lambda_i - \lambda_m)} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n}{(\lambda_1 - \lambda_m)(\lambda_2 - \lambda_m) \dots (\lambda_n - \lambda_m)}$$

در مخرج کسر جملات با  $i=m$  حذف شده است

در این مورد نیز تعادل دیر پا حاصل می شود

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n$$





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation 3.0

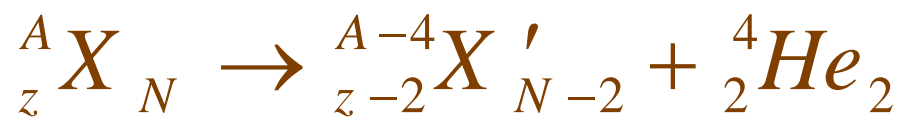
## ۵-۶ انواع واپاشیها

### واپاشی آلفا

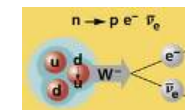


گسیل ذره آلفا توسط هسته

فرایند ترجیحی



مثالی از فرایند واپاشی آلفا



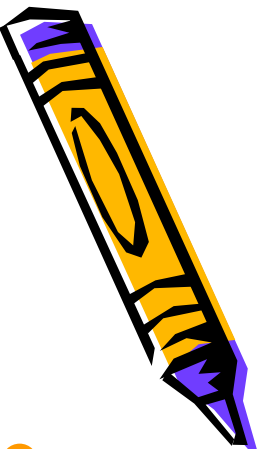


Microsoft Equation 3.0



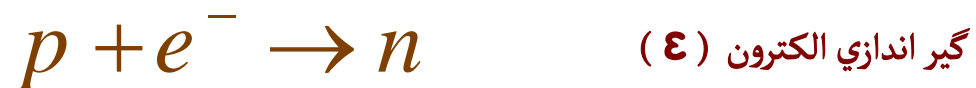
# ادامه انواع واپاشیها

## واپاشی بتازا

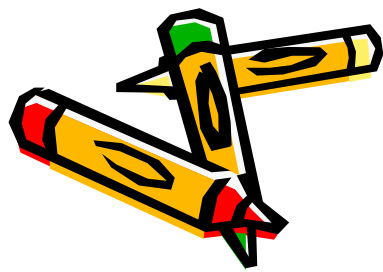
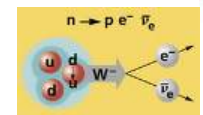
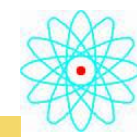


اضافه نوترون یا اضافه پروتون به پروتون یا نوترون تبدیل می شود.

سه صورت ممکن فرایند



در هر سه فرایند ، ذره نوترینو فاقد بار تولید می شود.





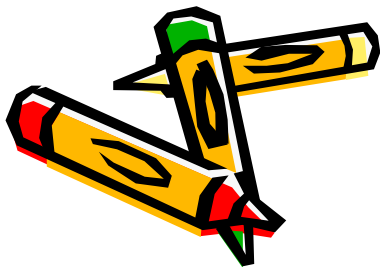
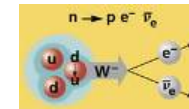
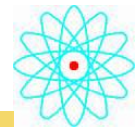
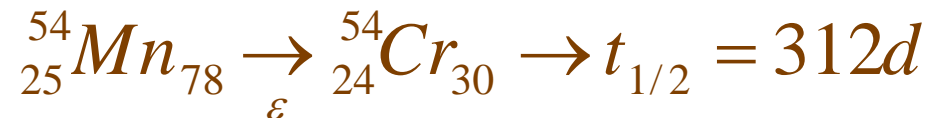
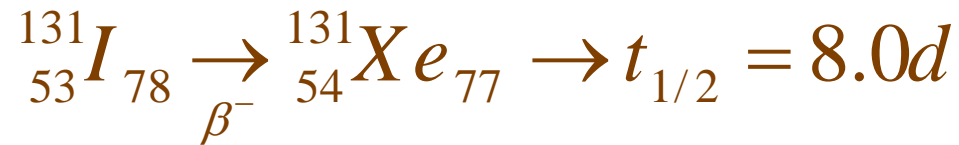


دانشگاه پیام نور

## ادامه انواع واپاشیها

### واپاشی بتا

سه نمونه فرایند واپاشی بتا



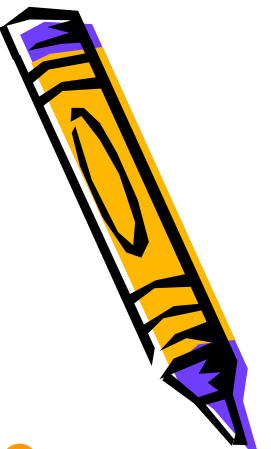


Microsoft Equation 3.0



# ادامه انواع واپاشیها

## واپاشی گاما



گسیل گاما مشابه گذارهای اپتیکی یا پرتو X است.  
یک حالت هسته ای برانگیخته با گسیل یک فوتون گاما به حالت پایینتر تنزل می کند.

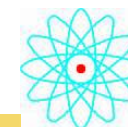
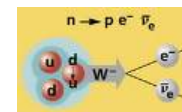
گذارهای ایزومر = گذارهای با نیمه عمر طولانی

$$t_{1/2} = 10^{-6} s$$

$$t_{1/2} = 10^{-12} s$$

این حالت ایزومر است

این حالت ایزومر نیست





دانشگاه پیام نور

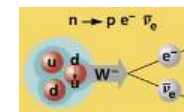
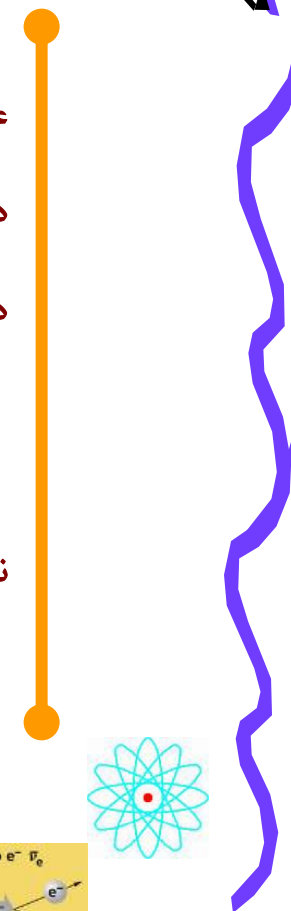
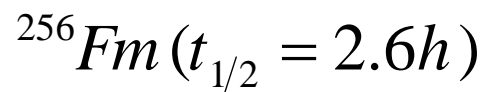
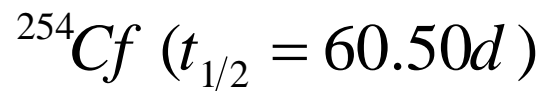
## ادامه انواع واپاشیها

### شکافت خود به خود

علاوه بر راکتورهای هسته ای ، بعضی از هسته ها به طور خود به خود شکافته می شوند.  
در این شکافت به نوترون نیاز نیست.

در شکافت هسته به دو پاره باجرم های واقع در گستره هسته های میان وزن تقسیم می شود.

نمونه هسته هایی که خود به خود شکافته می شوند.





دانشگاه پیام نور

## ادامه انواع واپاشیها

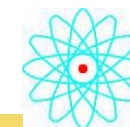
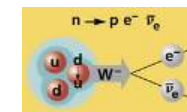
### گسیل نوکلئون



گسیل نوکلئون در نقاط دور از دره پایداری امکان پذیر است.

این فرایند تامین کننده نوترونهای تاخیری است.

مثال: ۰٫۷٪ از واپاشیهای از طریق گسیل  $^{73}K$  به ترازهای  $^{73}Br$  با انرژی حدود  $5\text{ MeV}$  منتهی می شود، که به گسیل پروتون منتهی می گردد.  $\beta^+$





# ادامه انواع واپاشیها

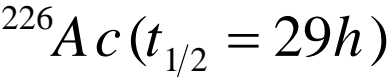
نسبتهای انشعاب و نیمه عمرهای جزئی



غالباً نمودار واپاشی پیچیده است و هسته ها به راههای گوناگون واپاشیده می شوند.

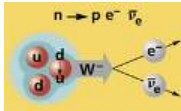
نسبت انشعاب = شدت نسبی مد های رقیب

مثال: نشان دادن نسبت انشعاب با ثابت واپاشی جزئی یا نیمه عمر جزئی برای



ثابت واپاشی کل

$$\lambda_t = \frac{0.693}{t_{1/2}} = 0.044h^{-1} = 6.6 \times 10^{-6} s^{-1}$$





Microsoft  
Equation  
3.0



## ادامه انواع واپاشیها

نسبتهای انشعاب و نیمه عمرهای جزئی



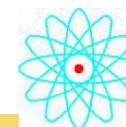
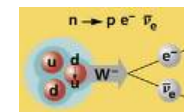
ادامه مثال:

ثابت های واپاشی جزئی

$$\lambda_{\beta} = 0.83 \lambda_t = 5.5 \times 10^{-6} s^{-1}$$

$$\lambda_{\varepsilon} = 0.17 \lambda_t = 1.1 \times 10^{-6} s^{-1}$$

$$\lambda_{\alpha} = 6 \times 10^{-5} \lambda_t = 4 \times 10^{-10} s^{-1}$$





Microsoft Equation 3.0



# ادامه انواع واپاشیها

نسبتهای انشعاب و نیمه عمرهای جزئی



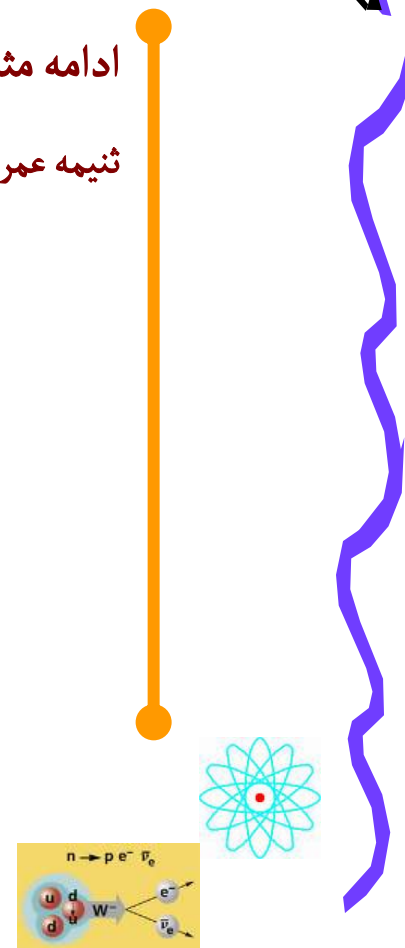
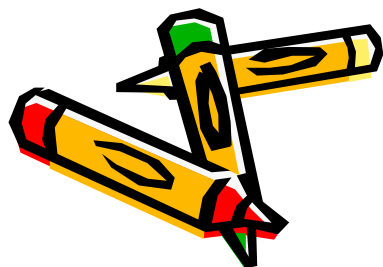
ادامه مثال:

نیمه عمرهای جزئی

$$t_{1/2,\beta} = \frac{0.693}{\lambda_{\beta}} = 1.3 \times 10^5 s = 35h$$

$$t_{1/2,\epsilon} = \frac{0.693}{\lambda_{\epsilon}} = 6.1 \times 10^5 s = 170h$$

$$t_{1/2,\alpha} = \frac{0.693}{\lambda_{\alpha}} = 1.7 \times 10^9 s = 55y$$





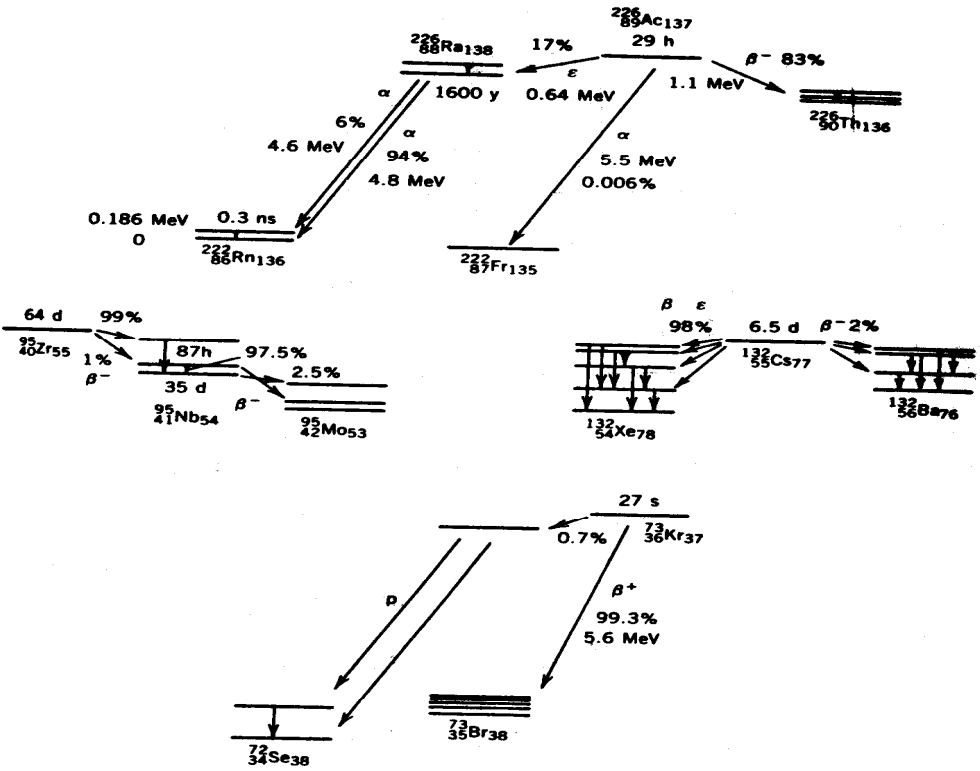
دانشگاه پیام نور

# ادامه انواع واپاشیها

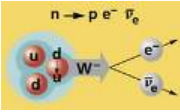
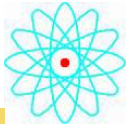
## نسبتهای انشعاب و نیمه عمرهای جزئی



### انواع مختلف فرایندهای واپاشی



شکل ۸۰۶ انواع مختلف فرایندهای واپاشی.







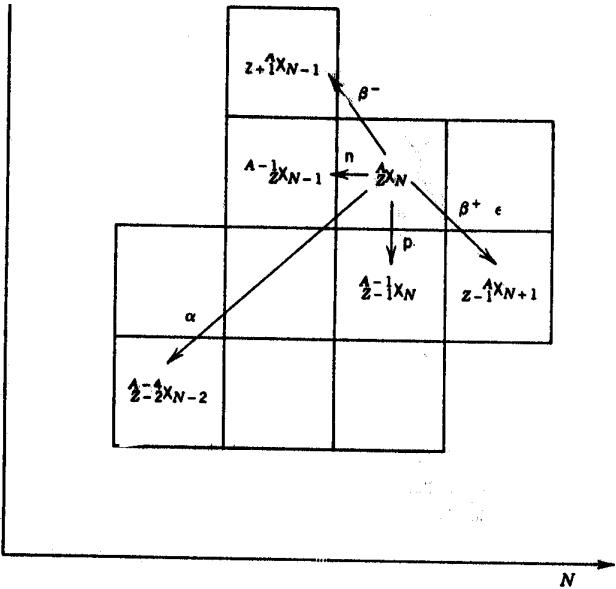
دانشگاه پیام نور

# ادامه انواع واپاشیها

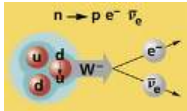
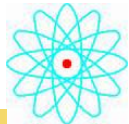
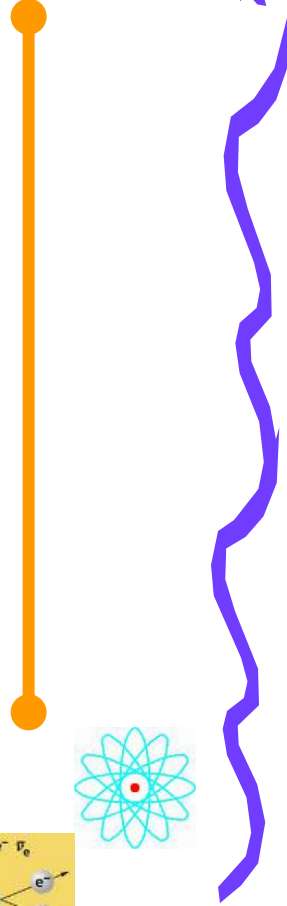
نسبتهای انشعاب و نیمه عمرهای جزئی



## روشهای مختلف فرایندهای واپاشی



شکل ۹.۶ هسته اولیه  ${}^A_Z X_N$  از طریق فرایندهای مختلف واپاشی می تواند به حالت های نهایی متنوعی برسد.





Microsoft  
Equation  
3.0



## ۶-۶ رادیواکتیویته طبیعی

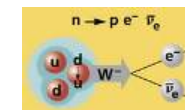
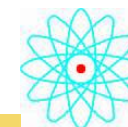


اعداد جرمی چهار زنجیره واپاشی مستقل موجود در طبیعت

$$4n, 4n+1, 4n+2, 4n+3$$

$N$  عدد صحیح است.

سری نپتونوم به علت کوتاه بودن دراز عمر ترین عضو آن از بین رفته و در طبیعت یافت نمی شود.





Microsoft Equation 3.0



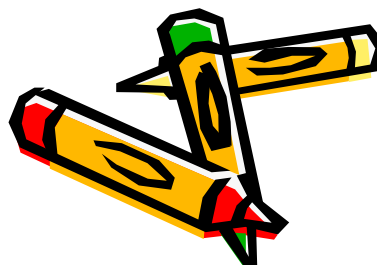
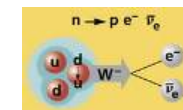
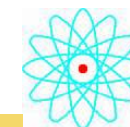
## ادامه رادیواکتیویته طبیعی



جدول ۱۰۶ بعضی از مشخصات سریهای فروپاشی عناصر سنگین.

در از - عمر ترین عضو	هسته	هسته پایدار نهایی	نوع*	نام سری
				نیمه عمر (y)
$1.741 \times 10^{10}$	$^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}$	$4n$	توریم
$2.14 \times 10^6$	$^{237}\text{Np}$	$^{209}\text{Bi}$	$4n+1$	نپتونیم
$4.747 \times 10^9$	$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}$	$4n+2$	اورانیم
$7.704 \times 10^8$	$^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}$	$4n+3$	اکتینیم

\* همواره عدد صحیح است.







دانشگاه پیام نور

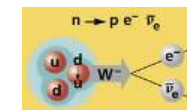
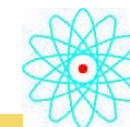
## ادامه رادیواکتیویته طبیعی



عناصر رادیواکتیو طبیعی خارج از سری های چهار گانه

جدول ۲۰۶ برخی ایزوتوپهای رادیواکتیو طبیعی.

ایزوتوپ	$t_{1/2}(y)$
$^{40}\text{K}$	$1.248 \times 10^9$
$^{87}\text{Rb}$	$4.78 \times 10^{10}$
$^{112}\text{Cd}$	$9 \times 10^{15}$
$^{115}\text{In}$	$4.74 \times 10^{14}$
$^{138}\text{La}$	$1.03 \times 10^{11}$
$^{176}\text{Lu}$	$3.76 \times 10^{10}$
$^{187}\text{Re}$	$5 \times 10^{10}$





دانشگاه پیام نور

## فصل ۸: واپاشی آلفا



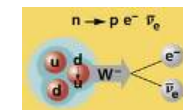
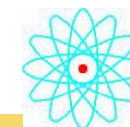
۱-۸ منشأ واپاشی آلفا

۲-۸ فرایندهای واپاشی آلفا

۳-۸ رده بندی واپاشیهای آلفا

۴-۸ تکانه زاویه ای و پارایته در واپاشی آلفا

۵-۸ طیف نمایی واپاشی آلفا





دانشگاه پیام نور



Microsoft Equation  
3.0

## فصل ۸: واپاشی آلفا



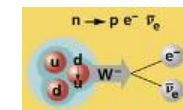
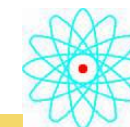
خلاصه درس: در این فصل با مفهوم واپاشی آلفا

• منشا آن

• فرایندهای آلفا

• ویژگیهای کوانتومی و

طیف نمایی واپاشی آلفا آشنا می شویم.





## ۱-۸ منشأ واپاشی آلفا

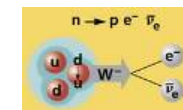
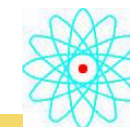


بسیاری از هسته های سنگین با گسیل آلفا واپاشیده می شوند

گسیل هر نوع نوکلئون دیگر در فرآیند واپاشی رادیواکتیو خود به خود بسیار به ندرت اتفاق می افتد.

مثال: گسیل دوتریم در فرآیند واپاشی طبیعی ملاحظه نمی شود.

نشان داده می شود که طیف نمایی آلفا می تواند به درک ساختار هسته ای کمک کند.







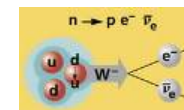
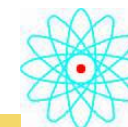
## ادامه منشأ واپاشی آلفا



گسیل آلفا در نتیجه دافعه کولنی اتفاق می افتد.

با توجه به نتایج محاسبات جدول ۸-۱ واپاشی خود به خود از لحاظ انرژی فقط برای ذره آلفا امکانپذیر است.

فرآیند خود به خود فرآیندی است که طی آن مقداری انرژی جنبشی ناگهان بدون دلیل آشکار در سیستم ظاهر می شود.





## ادامه منشأ واپاشی آلفا

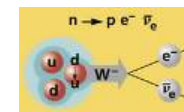
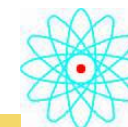


شرط آلفا گسیل بودن:

۱- شرط انرژی برقرار باشد.

۲- ثابت فروپاشی نیز نباید خیلی کوچک باشد.

اغلب هسته‌های با  $A > 190$  (و بسیاری از هسته‌های با  $150 < A < 190$ ) از لحاظ انرژی در برابر گسیل آلفا ناپایدارند و لی نیمی از آنها بقیه شرایط را نیز دارند.





دانشگاه پیام نور

# ادامه منشأ واپاشی آلفا

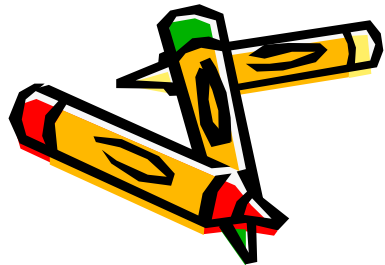
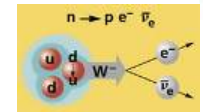
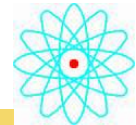
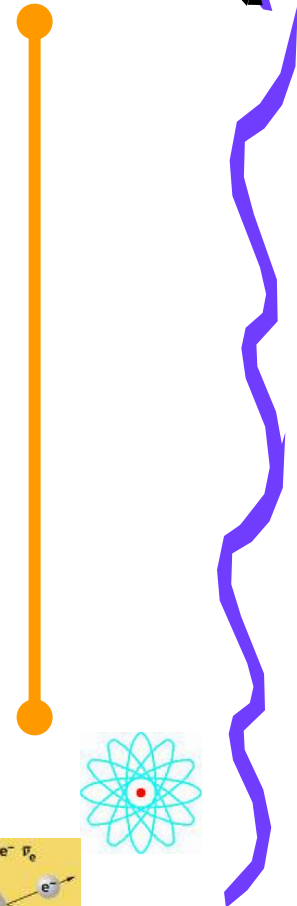


جدول ۱۰۸ انرژی آزاد شده (مقدار Q) برای مدهای مختلف واپاشی  $\alpha$  ۲۳۲U\*.

انرژی آزاد شده (MeV)	ذره گسیل شده	انرژی آزاد شده (MeV)	ذره گسیل شده
+۵۳۴۱	${}^4\text{He}$	-۷۳۲۶	n
-۲۳۵۹	${}^5\text{He}$	-۶۳۱۲	${}^1\text{H}$
-۶۳۱۹	${}^6\text{He}$	-۱۰۳۷۰	${}^2\text{H}$
-۳۳۷۹	${}^6\text{Li}$	-۱۰۳۲۴	${}^3\text{H}$
-۱۳۹۲	${}^7\text{Li}$	-۹۳۹۲	${}^3\text{He}$

\* این مقادیر براساس جرمهای شناخته شده محاسبه شده اند.

$$Q = (m_{\text{parent}} - m_{\text{daughter}} - m_{\text{particle}}) c^2$$



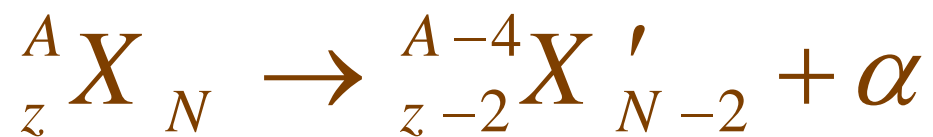


دانشگاه پیام نور

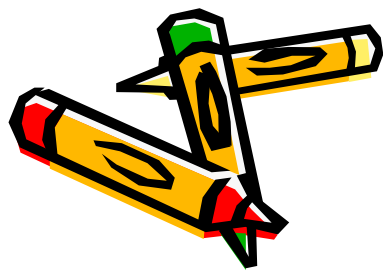
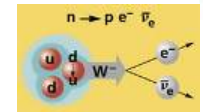
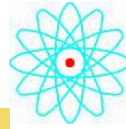
# ۲-۸ فرآیند های واپاشی آلفا



گسیل خود به خود يك ذره آلفا با فرآیند زیر نشان داده می شود



برای درک فرآیند واپاشی ، پایستگی انرژی ، تکانه خطی و تکانه زاویه ای بررسی می شود.





دانشگاه پیام نور

# ادامه فرایندهای واپاشی آلفا

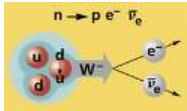
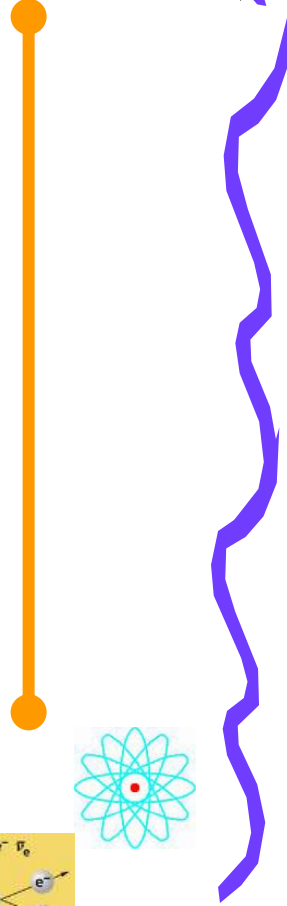


بررسی پایستگی انرژی

$$m_x c^2 = m_{x'} c^2 + T_{x'} + m_\alpha c^2 + T_\alpha$$

$$(m_x - m_{x'} - m_\alpha) c^2 = T_{x'} + T_\alpha$$

طرف راست معادله انرژی خالص آزاد شده در واپاشی است که مقدار Q خوانده می شود.





# ادامه فرایندهای واپاشی آلفا



مقدار  $Q$  واکنش

$$Q = (m_x - m_{x'} - m_\alpha)c^2$$

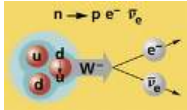
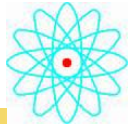
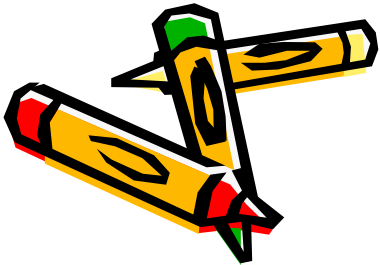
شرط انجام واپاشی خود به خود:  $Q > 0$

برابر  $931.5 \text{ MeV/u}$  در نظر گرفته شود، مقدار  $Q$

اگر جرمها بر حسب یکای جرم اتمی ( $u$ ) و مستقیماً بر حسب  $\text{MeV}$  به دست می آید.

$$Q = T_{x'} + T_\alpha$$

مقدار  $Q =$  انرژی جنبشی کل پارهها





دانشگاه پیام نور

# ادامه فرایندهای واپاشی آلفا



$$p_{\alpha} = p_{x'}$$

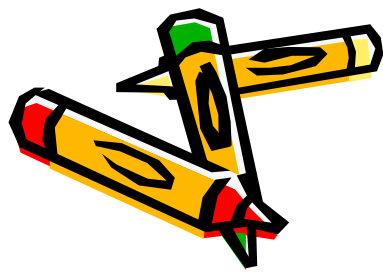
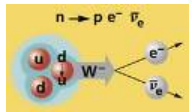
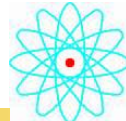
$$T_{\alpha} = \frac{Q}{(1 + m_{\alpha} / m_{x'})}$$

$$T_{\alpha} = Q(1 - 4/A)$$

شرط صفر شدن تکانه نهایی

رابطه بین انرژی جنبشی و Q

شکل ساده تر رابطه





دانشگاه پیام نور

## ۳-۸ رده بندی واپاشیهای آلفا

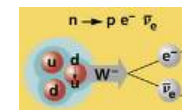
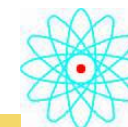


قاعده گایگر و ناتال:

آلفا گسیلهایی که انرژی فروپاشی شان زیاد است ، نیمه عمرهای کوتاه دارند و بالعکس.

ترسیم نمودار نشان می دهد. برحسب انرژی  $Q$  که شامل پراکندگی زیادی از روند گایگر - ناتال  $\log t_{1/2}$

اگر فقط آلفا گسیلهای  $Z$  یکسان و فقط هسته های با  $Z$  و  $N$  زوج در نظر بگیریم خمها هموار خواهد بود.



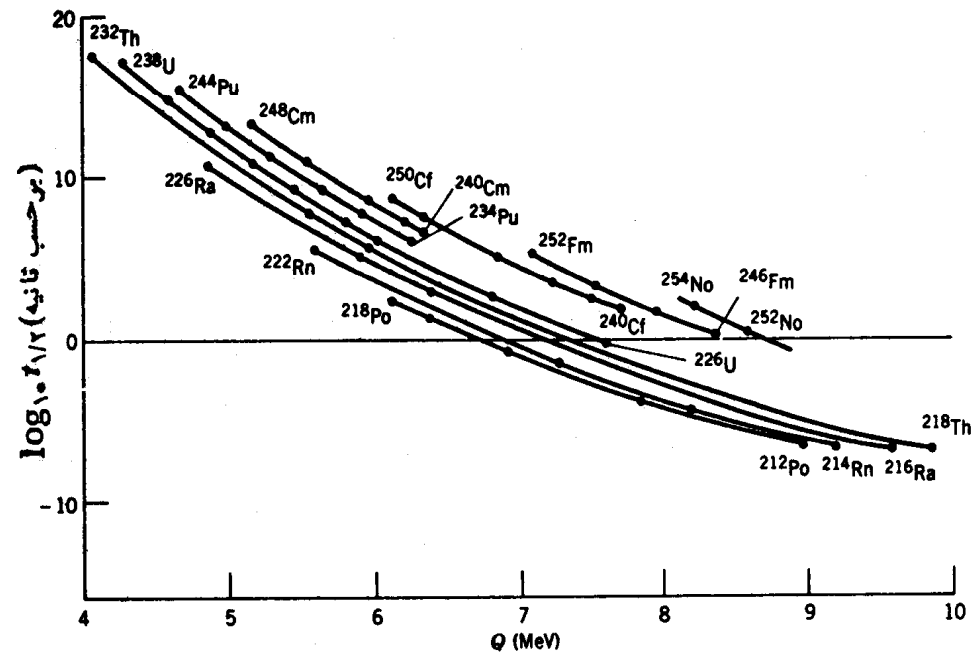




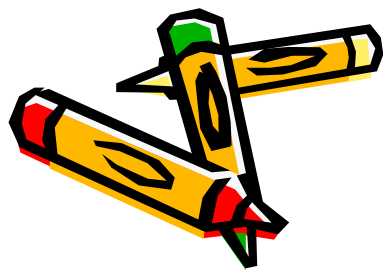
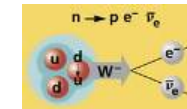
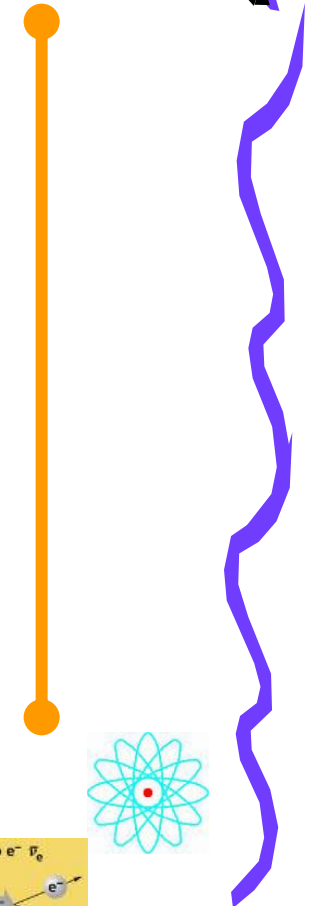
Microsoft Equation 3.0



# ادامه رده بندی واپاشیهای آلفا



شکل ۱۰۸ رابطه معکوس بین نیمه عمر واپاشی آلفا و انرژی واپاشی که قاعده گایگر-ناتال خوانده می شود. فقط هسته های Z زوج و N زوج نشان داده شده اند. خطوط بر نقاط تجربی را بهم وصل می کنند.





دانشگاه پیام نور

# ادامه رده بندی واپاشیهای آلفا

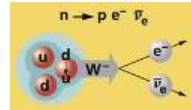
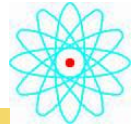


بستگی سیستماتیک  $Q$  به  $A$  با پیش بینی فرمول نیمه تجربی جرم

$$Q = B(^4He) + B(Z-2, A-4) - B(Z, A) \cong$$

$$28.3 - 4a_v + \frac{8}{3}a_s A^{-1/3} + 4a_c Z A^{-1/3} (1 - Z/3A)$$

$$- 4a_{sym} \left(1 - \frac{2Z}{A}\right)^2 + 3a_p A^{-7/4}$$

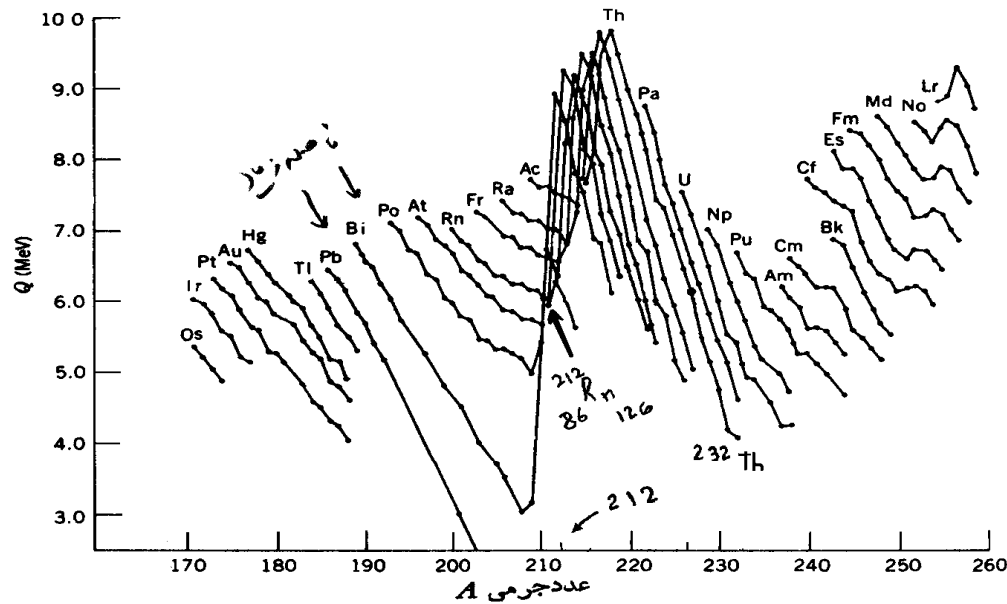




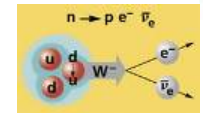
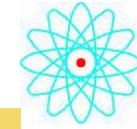
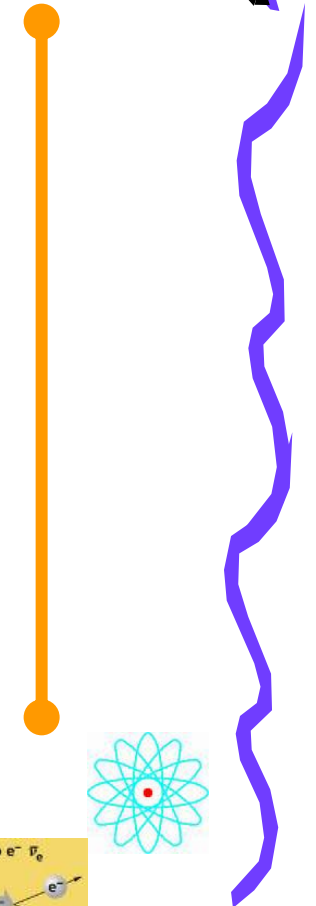
Microsoft Equation 3.0



## ادامه رده بندی واپاشیهای آلفا



شکل ۴۰۸ انرژی آزاد شده در واپاشی آلفا برای زنجیره‌های ایزوتوپی مختلف هسته‌های سنگین. برخلاف شکل ۱۰۸ ایزوتوپهای  $A$  فرد و زوج هر دو نشان داده شده‌اند، و پراکنده‌گیهای ناشی از فرد و زوج بودن کوچک است. اثرات بسته شدن پوسته در  $N=126$  (فروفتگی بزرگ در شکل) و  $Z=82$  (فاصلهٔ بیش از مقدار متوسط بین زنجیره‌های  $Pb$ ،  $Bi$ ،  $Po$  به وضوح قابل مشاهده است).





دانشگاه پیام نور

## ۵-۸- تکانه زاویه ای و پارینه در واپاشی آلفا

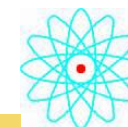
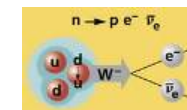
قاعده گزینش پارینه برای گذارهای مجاز و مطلقا ممنوع:

اگر پارینه‌های اولیه و نهایی یکسان باشند باید زوج ، و در صورت مختلف بودن پارینه‌ها باید فرد باشد.

$l_{\alpha}$

ساختار ریز:

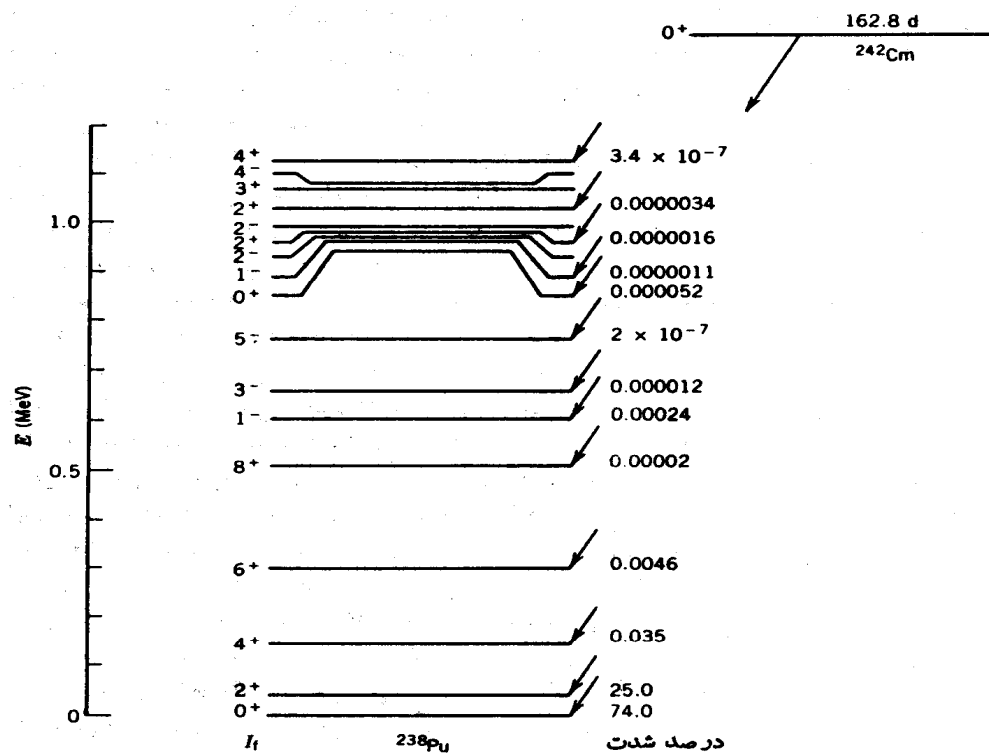
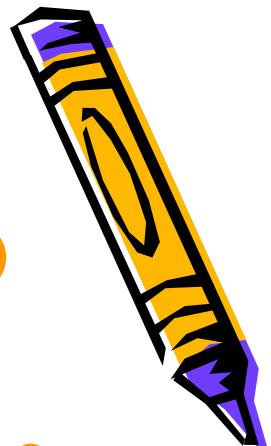
تبدیل يك حالت اولیه به حالت‌های متعدد دختر هسته



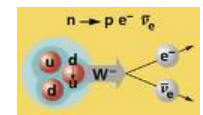


دانشگاه پیام نور

# ادامه تکانه زاویه ای و پارینه در واپاشی آلفا



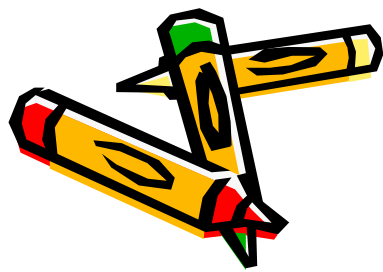
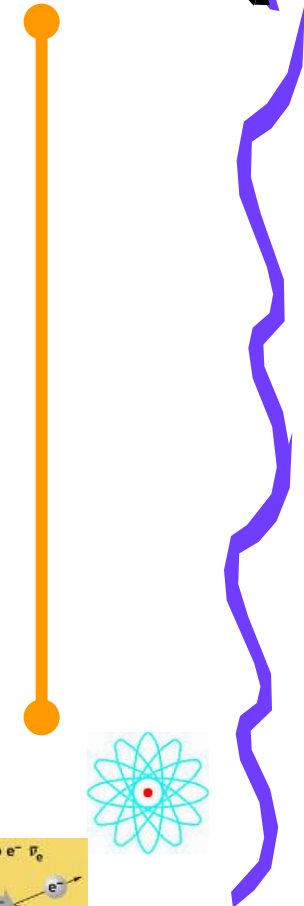
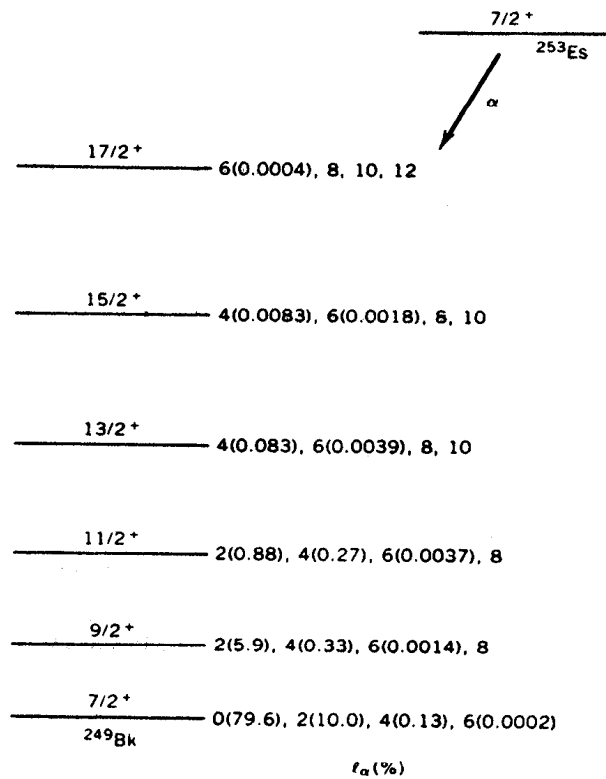
شکل ۷۰۸ واپاشی آلفای  $^{242}\text{Cm}$  به حالات برانگیخته مختلف  $^{238}\text{Pu}$ . شدت هر شاخه واپاشی آلفا درست راست تراز داده شده است.



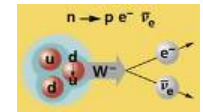


دانشگاه پیام نور

# ادامه تکانه زاویه ای و پارینه در واپاشی آلفا



شکل ۸-۸ شدت مؤلفه‌های مختلف تکانه زاویه‌ای در واپاشی  $^{253}\text{Es}$  برای  $l_\alpha = 8$  و بسالاتر، شدتها معلوم نیستند ولی مقدار آنها را می‌توان فوق‌العاده کوچک گرفت.





دانشگاه پیام نور

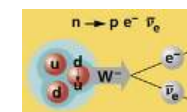
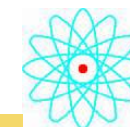
## ادامه تکانه زاویه ای و پارینه در واپاشی آلفا

بررسی محل گسیل ذرات آلفا از یک هسته:

سوال: آیا تعداد آلفای گسیل شده از محل قطب بیشتر است یا از استوا؟

پاسخ: در شعاع بزرگتر قطبی، ذره آلفا با سد پتانسیل کولنی ضعیفتری رو به رو است، و باید از سد نازکتر و کوتاهتری نفوذ کند.

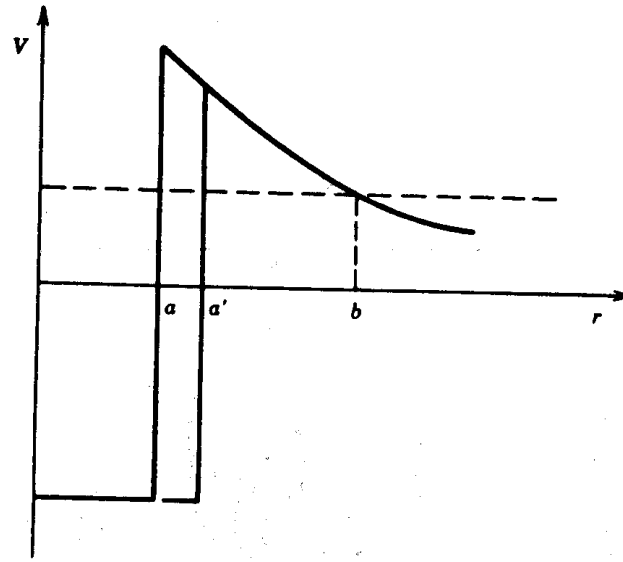
پس انتظار داریم گسیل قطبی محتملتر از گسیل استوایی باشد.



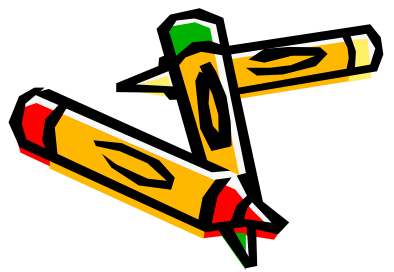
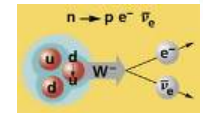
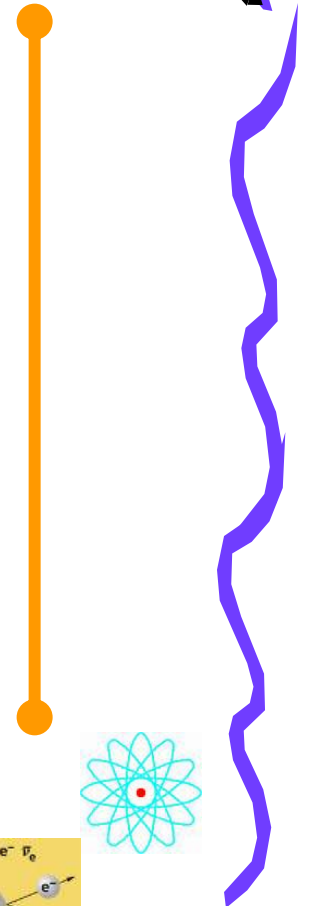


دانشگاه پیام نور

# ادامه تکانه زاویه ای و پارینه در واپاشی آلفا



شکل ۹.۸ در یک هسته تغییر شکل یافته، ذرات آلفایی که از محل قطبها خارج می شوند در فاصله جدایی بزرگتر  $a'$  وارد سد کولنی می شوند، و بنابراین باید در سد کوتاهتر و نازکتری نفوذ کنند. بدین سان، احتمال مشاهده گسیل  $\alpha$  در محل قطبها بیشتر از محل استواست.  
 $\theta = 0^\circ$





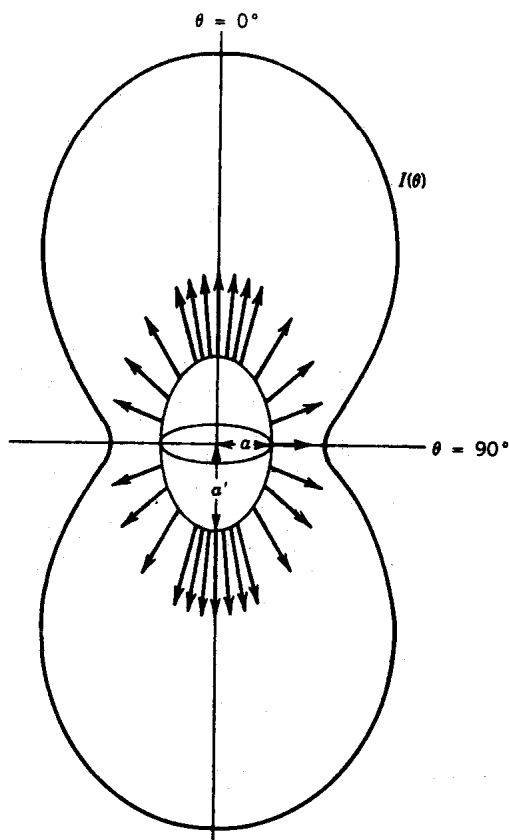


دانشگاه پیام نور

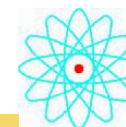
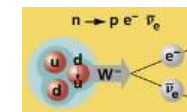
## ادامه تکانه زاویه ای و پاریته در واپاشی آلفا



گسیل بیشتر ذرات آلفا از قطبها



شکل ۱۵.۸ توزیع شدت ذرات آلفای گسیل شده از هسته تغییر شکل یافته ای که در مرکز شکل قرار دارد. نمودار قطبی شدت، تأثیر بارز توزیع زاویه ای را نشان می دهد.



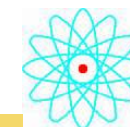
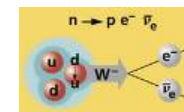


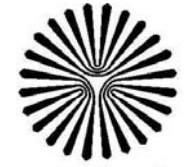
## ۸-۶ طیف نمایی واپاشی آلفا



روش باز سازي طرح تراز هسته ها با استفاده از اطلاعات به دست آمده از طيف انرژي هسته هاي آلفا:

با استفاده از کالیبراسیون (روش مقایسه) انرژی هر پیک مشخص می شود سپس با محاسبه ، سطح زیر پیک شدت به دست می آید.



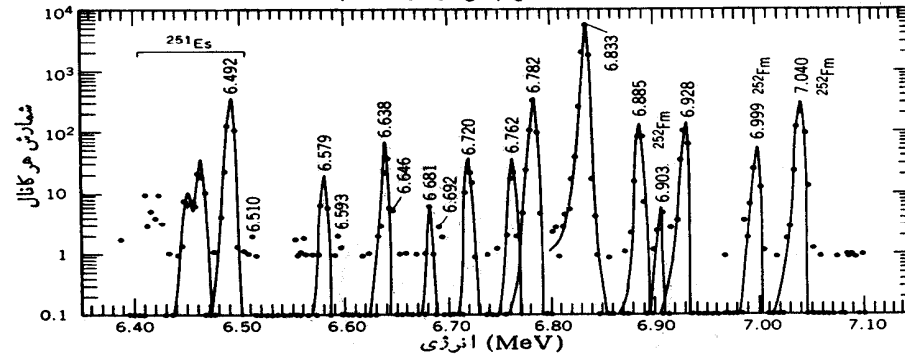
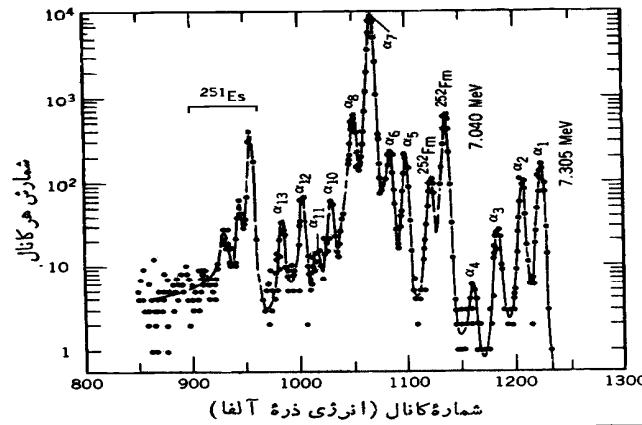


دانشگاه پیام نور

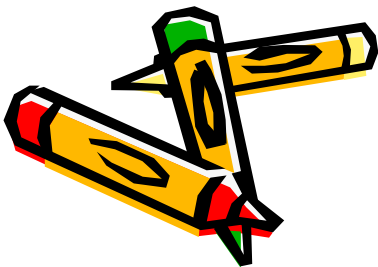
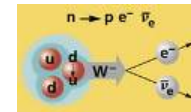
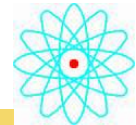
# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



طیف آلفای فرمیم-۲۵۱



شکل ۱۱۰۸ طیف آلفای ناشی از واپاشی  $^{251}\text{Fr}$ . قسمت بالا طیف مشاهده شده توسط یک آشکارساز Si را نشان می‌دهد. تصویر پایین نمایانگر قسمتی از همان طیف است که با طیف‌سنج مغناطیسی مشاهده شده است. تفکیک برتر انرژی در این آشکارساز، وجود واپاشی  $6.762\text{MeV}$  را که در طیف بالایی پوشیده می‌ماند پدیدار ساخته است.





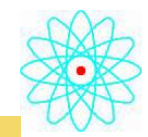
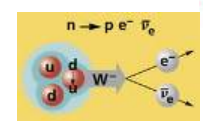
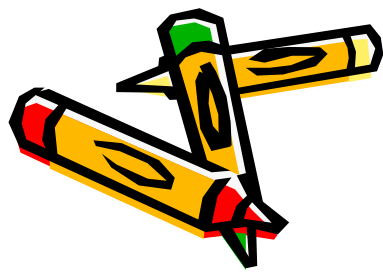
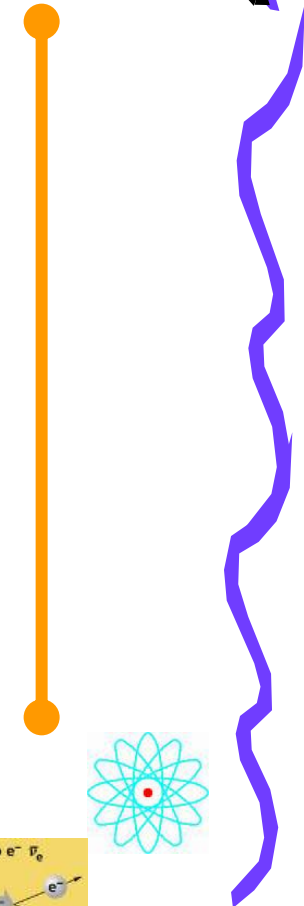
دانشگاه پیام نور

# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



جدول ۳۰۸ واپاشیهای آلفای  $^{251}\text{Fm}$

گروه $\alpha$	انرژی $\alpha$ (keV)	انرژی واپاشی (keV)	انرژی حالت برانگیخته (keV)	شدت $\alpha$ (%)
$\alpha_1$	$7305 \pm 3$	7223	0	$1.5 \pm 0.1$
$\alpha_2$	$7251 \pm 3$	7368	55	$0.93 \pm 0.08$
$\alpha_3$	$7184 \pm 3$	7300	123	$0.29 \pm 0.03$
$\alpha_4$	$7106 \pm 5$	7221	202	$\sim 0.05$
$\alpha_5$	$6928 \pm 2$	7040	283	$1.8 \pm 0.1$
$\alpha_6$	$6885 \pm 2$	6996	227	$1.7 \pm 0.1$
$\alpha_7$	$6833 \pm 2$	6944	279	$8.70 \pm 0.9$
$\alpha_8$	$6782 \pm 2$	6892	531	$2.8 \pm 0.2$
$\alpha_9$	$6762 \pm 3$	6872	552	$0.38 \pm 0.06$
$\alpha_{10}$	$6720 \pm 3$	6829	592	$0.22 \pm 0.04$
$\alpha_{11}$	$6681 \pm 4$	6789	632	$0.07 \pm 0.03$
$\alpha_{12}$	$6638 \pm 3$	6745	678	$0.56 \pm 0.06$
$\alpha_{13}$	$6579 \pm 3$	6686	738	$0.26 \pm 0.04$



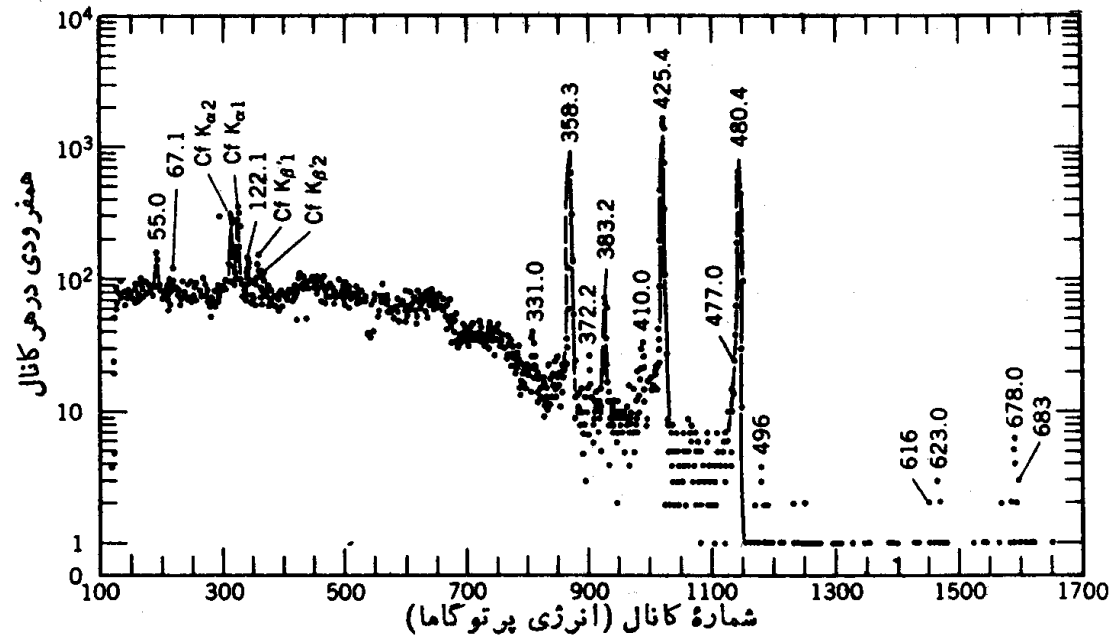


دانشگاه پیام نور

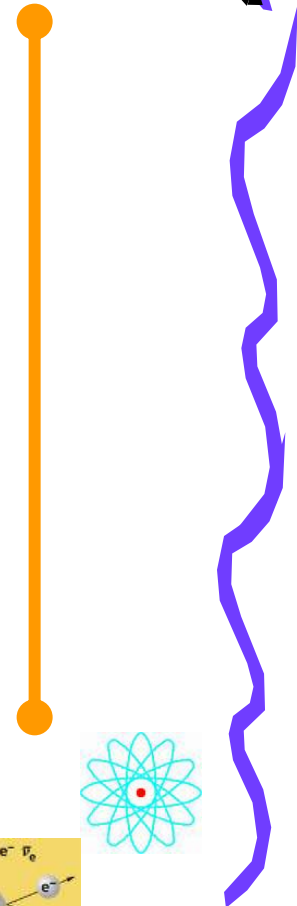
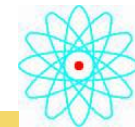
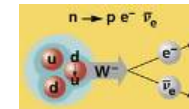
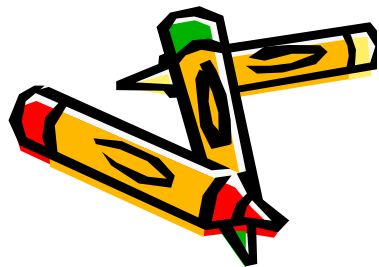
# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



طیف پرتو گامای فرمیم-۲۵۱



شکل ۱۴۰۸ طیف پرتو گامای ناشی از  $^{251}\text{Fr}$  در همفرودی با تمام واپاشیهای آلفا در گستره ۶۵ تا ۷.۷ MeV. این طیف با استفاده از آشکارساز Ge(Li) به دست آمده است.





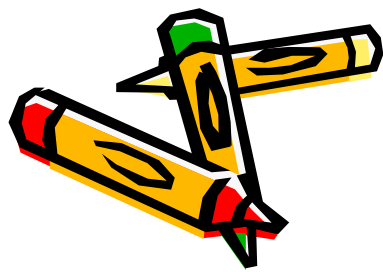
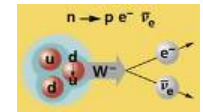
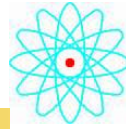
دانشگاه پیام نور

# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



جدول ۴۰۸ پرتوهای گامای  $^{247}\text{Cf}$  در پی واپاشی آلفای  $^{251}\text{Fm}$ .

شدت (درصد واپاشیها)	انرژی (keV)	شدت (درصد واپاشیها)	انرژی (keV)
$51 \pm 2$	$42574 \pm 01$	$058 \pm 008$	$5570 \pm 02$
$054 \pm 008$	$47770 \pm 03$	$028 \pm 005$	$6711 \pm 02$
$21 \pm 2$	$48074 \pm 01$	$028 \pm 005$	$12271 \pm 02$
$\sim 008$	$496 \pm 1$	$035 \pm 007$	$33170 \pm 03$
$\sim 005$	$616 \pm 1$	$17 \pm 175$	$35873 \pm 01$
$007 \pm 002$	$62370 \pm 08$	$025 \pm 005$	$37272 \pm 04$
$026 \pm 006$	$67870 \pm 08$	$172 \pm 013$	$38272 \pm 03$
$\sim 004$	$683 \pm 1$	$050 \pm 007$	$41070 \pm 03$





دانشگاه پیام نور

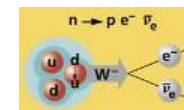
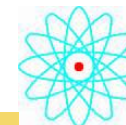
## ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



تفسیر حالات باقیمانده به کمک مطالعات همفرودی.

در آن گذارهایی از گاما انتخاب می شود که در زمان کوتاهی (در این مورد فاصله  $ns$  ۱۱۰) از واپاشی آلفا رخ می دهند.

ثبت کلیه پرتوهای گامای گسیلی (حتی آنهایی که ماند گسیل دو گامای پیاپی به طور غیر مستقیم گسیل می شوند).





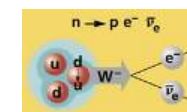
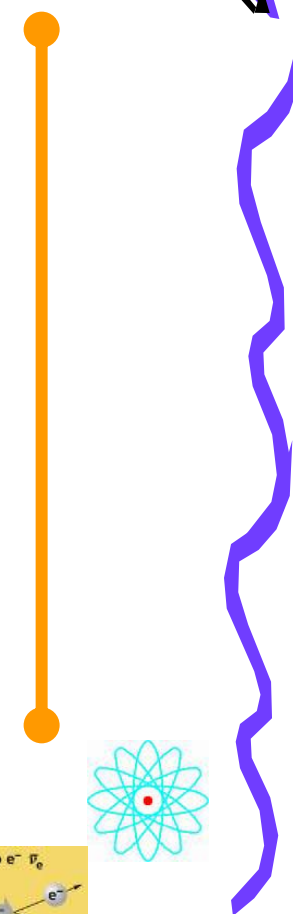
دانشگاه پیام نور

# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا

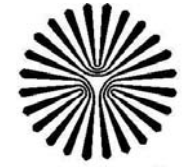


ارتباط همفرودی های مشاهده شده:

درجه همفرودی	پرتوهای گاما (keV)
$\alpha_5$	۳۸۳۲
$\alpha_6$	۳۸۳۲، ۳۷۲۲
$\alpha_7$	۴۸۰۲، ۴۲۵۲، ۳۵۸۳، ۱۲۲۱، ۶۷۱، ۵۵۰
$\alpha_8$	۴۸۰۲، ۴۷۷۰، ۴۲۵۲، ۴۱۰۰، ۳۵۸۳، ۳۳۱۰
$\alpha_{12}$	۶۷۸۰، ۶۲۳۰





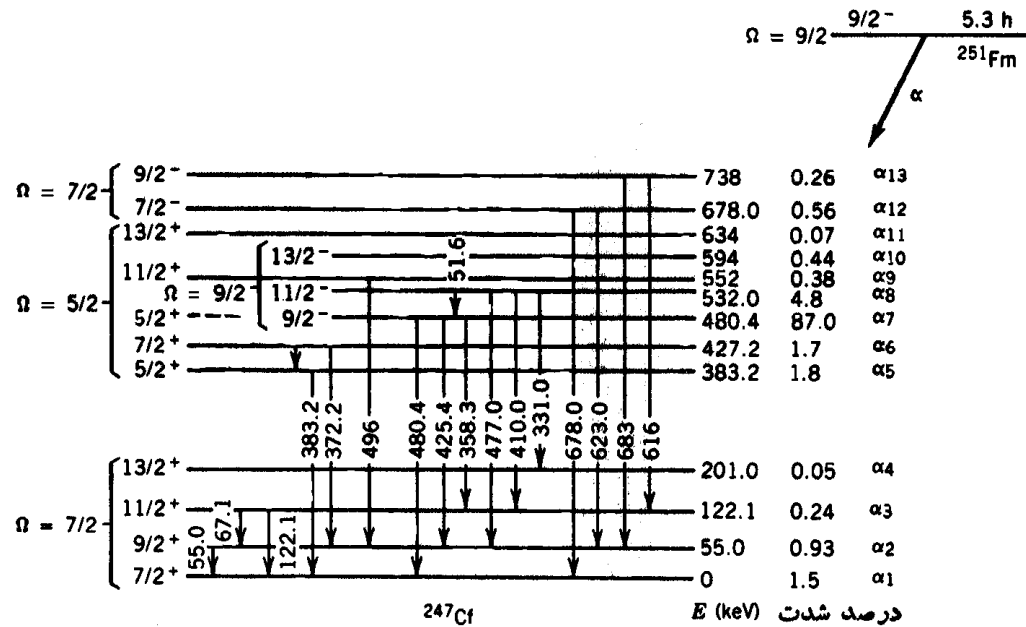


دانشگاه پیام نور

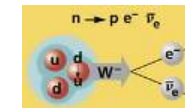
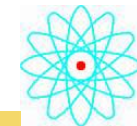
# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



طرح واپاشی فرمیم-۲۵۱ به کالیفرمیم-۲۴۷



شکل ۱۳۰۸ طرح واپاشی  $251\text{Fm}$  به ترازهای  $247\text{Cf}$  که از طیف نمایی  $\alpha$  و  $\gamma$  استنتاج شده است. اسپین ترازهای بالاتر با استفاده از تکنیکهای پرتو  $\gamma$  و تبدیل داخلی که در فصل ۱۰ توضیح داده شده‌اند، تعیین شده است.



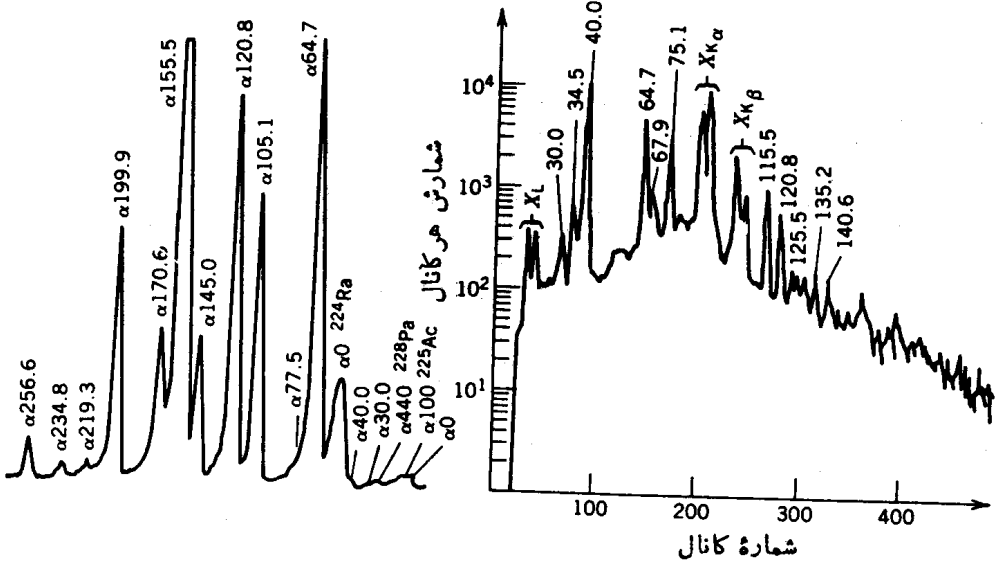


دانشگاه پیام نور

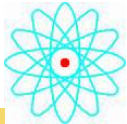
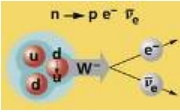
# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



طیف های آلفا و گامای ناشی از واپاشی پروتاکتینیم - ۲۲۹ و تبدیل آن به اکتینیم - ۲۲۵.



شکل ۱۴-۸ طیفهای  $\alpha$  (چپ) و  $\gamma$  (راست) ناشی از واپاشی  $^{229}\text{Pa}$  و تبدیل آن به  $^{225}\text{Ac}$ . قله های  $\alpha$  بر حسب انرژی حالت های برانگیخته  $^{225}\text{Ac}$  مشخص شده اند؛ بنا بر این  $105.1$  keV واپاشی منجر به حالت برانگیخته  $105.1$  keV را نشان می دهد. قله های بارز ناشی از ناخالصیها نیز مشخص شده اند. طیف  $\gamma$  با روش همفرودی با کلیه  $\alpha$  ها تعیین شده است.



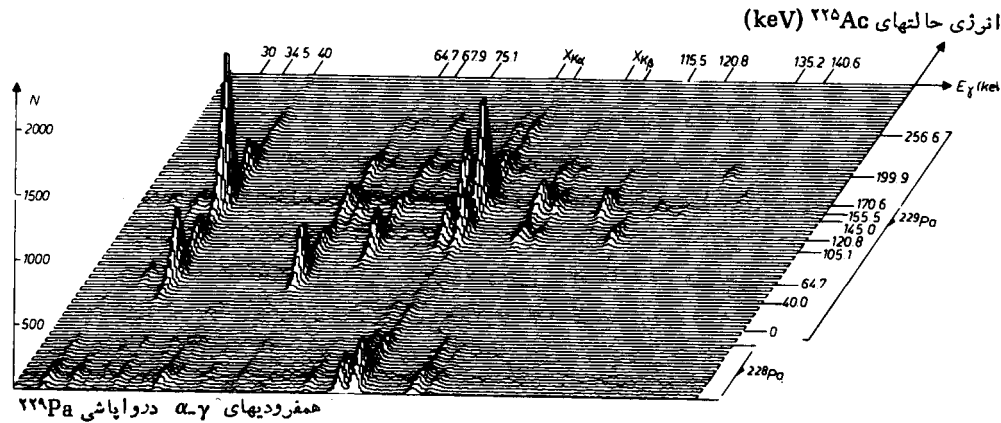


دانشگاه پیام نور

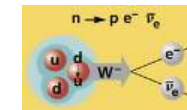
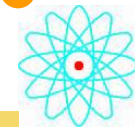
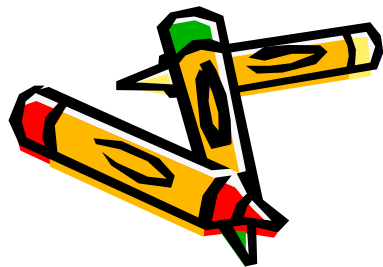
# ادامه طیف نمایی واپاشی آلفا



نمایش سه بعدی (یا دو پارامتری) همفرودی های آلفا گاما در واپاشی پروتاکتینیم - ۲۲۹.



شکل ۱۵۰۸ نمایش سه بعدی (یا دو پارامتری) همفرودیهای  $\alpha$ - $\gamma$  در واپاشی  $^{229}\text{Pa}$ . محور افقی نمایانگر انرژی پروتاگاماست که در قسمت بالا نشان داده شده است. محور اریب انرژیهای واپاشی آلفا را نشان می‌دهد، و مقادیر آن نماینده حالت‌های برانگیخته  $^{229}\text{Ac}$  است که واپاشی بدانها منجر می‌شود، محور عمودی شدت ارتباط همفرودی را نشان می‌دهد.







دانشگاه پیام نور

## فصل ۹: واپاشی بتازا

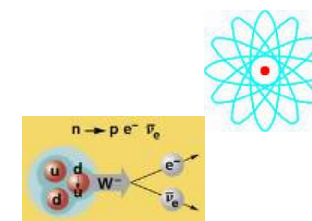


۱-۹ آزاد شدن انرژی در واپاشی بتازا

۲-۹ آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی

۳-۹ قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

۴-۹ نیمه عمر های تطبیقی و واپاشیهای ممنوع





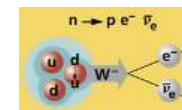
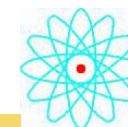
دانشگاه پیام نور

## فصل ۹: واپاشی بتازا



**خلاصه فصل:** در این فصل با مفهوم واپاشی بتازا و

- روش محاسبه انرژی واپاشی
- نظریه فرمی و آزمونهای تجربی آن
- قواعد گزینش و ویژگیهای مکانیک کوانتومی
- نیمه عمرهای تطبیقی و واپاشیهای ممنوع آشنا می شویم.





دانشگاه پیام نور

## ادامه واپاشی بتازا

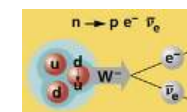
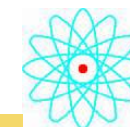


مقدمه

کشف فرایندها

تبدیل پروتون به نوترون و بالعکس

فرایندهای اساسی بتازا





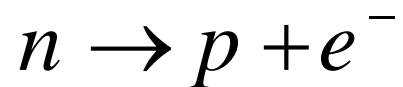
دانشگاه پیام نور

## ادامه واپاشی بتازا

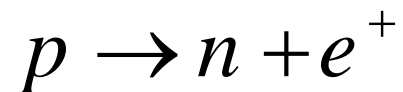


اساسی ترین واپاشی بتازا تبدیل پروتون به نوترون یا تبدیل نوترون به پروتون است.

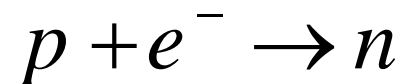
فرایندهای اساسی واپاشی بتازای



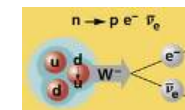
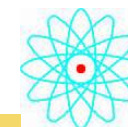
واپاشی بتازای منفی



واپاشی بتازای مثبت



گیراندازی الکترون مداری







دانشگاه پیام نور

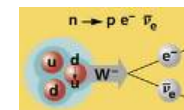
## ۹-۱ آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



طیف پیوسته بتا:

ذرات بتا طیف پیوسته ای دارند که از صفر تا حد بالایی (انرژی نقطه پایانی) که برابر تفاوت انرژی حالات اولیه و نهایی است، تغییر می کند.

انرژی گم شده: فرض از دست رفتن انرژی بتا از دستگاه



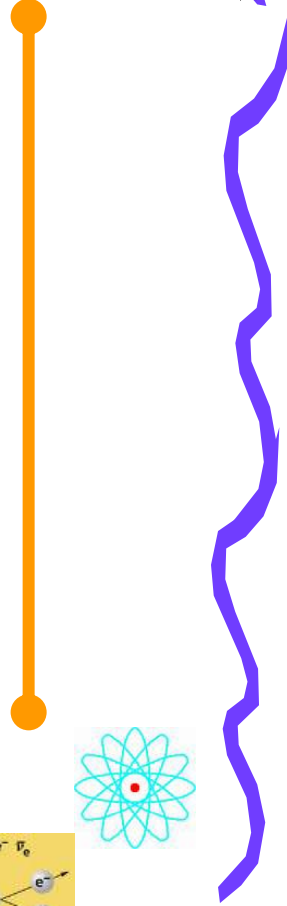
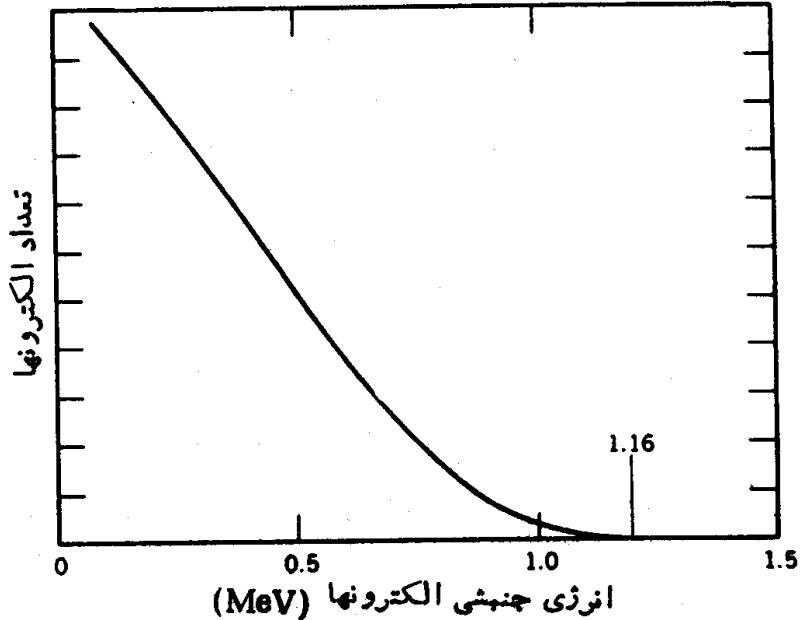


دانشگاه پیام نور

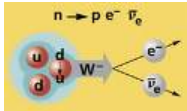
# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



طیف پیوسته بتا



شکل ۱۰۹ توزیع پیوسته انرژی الکترونها ناشی از واپاشی بتای  $^{210}\text{Bi}$  را در نوشته‌های علمی به صورت RaE نیز نشان می‌دهند.





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



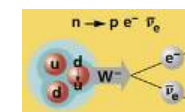
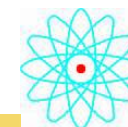
فرضیه پائولی:

پاولی در سال ۱۹۳۱ معرفی نوترینو

بار و اسپین و انواع نوترینو

پادنوترینو در واپاشی بتای منفی

نوترینو در واپاشی بتای مثبت





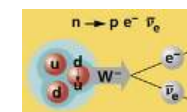
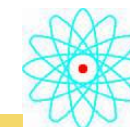
دانشگاه پیام نور

## ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



بحث در مورد انرژی واپاشی بتا

گام اول: در نظر گرفتن واپاشی نوترون





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا

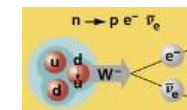
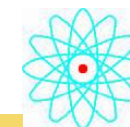


$Q$  برابر تفاوت انرژیهای جرمی هسته های ابتدایی و نهایی

$$Q = (m_n - m_p - m_e - m_{\bar{\nu}})c^2$$

$$Q = T_p + T_e + T_{\bar{\nu}}$$

برای واپاشیهایی نوترون در حال سکون



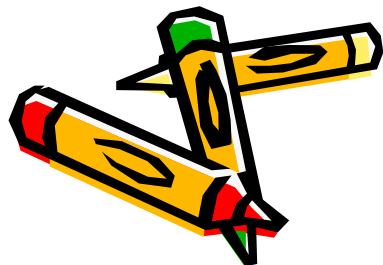
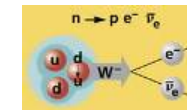
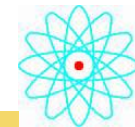


دانشگاه پیام نور

## ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا

محاسبه  $Q$  با استفاده از جرمهای اندازه گیری شده نوترون ، الکترون و پروتون  
و با در نظر گرفتن نمونه ای از فرایندهای واپاشی بتا در هسته

$$\begin{aligned} Q &= m_n c^2 - m_p c^2 - m_e c^2 - m_{\bar{\nu}} c^2 \\ &= 939.573 \text{ MeV} - 939.280 \text{ MeV} - \\ &0.511 \text{ MeV} - m_{\bar{\nu}} c^2 \\ &= 0.782 \text{ MeV} - m_{\bar{\nu}} c^2 \end{aligned}$$





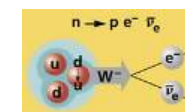
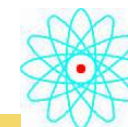
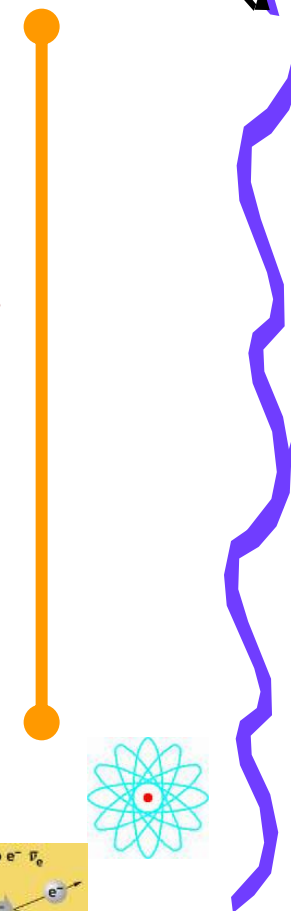
دانشگاه پیام نور

## ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا

ابتدا نوترینو بدون جرم در نظر گرفته شد.

مسیر ذرات در اتاقک ابری نشان می دهد فرایند واپاشی بتا فرایندی سه جسمی است.

باتوجه به محدوده انرژی ها ، مساله باید نسبیتی در نظر گرفته شود.





دانشگاه پیام نور

# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا

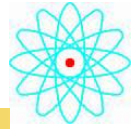
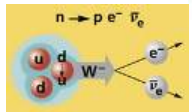
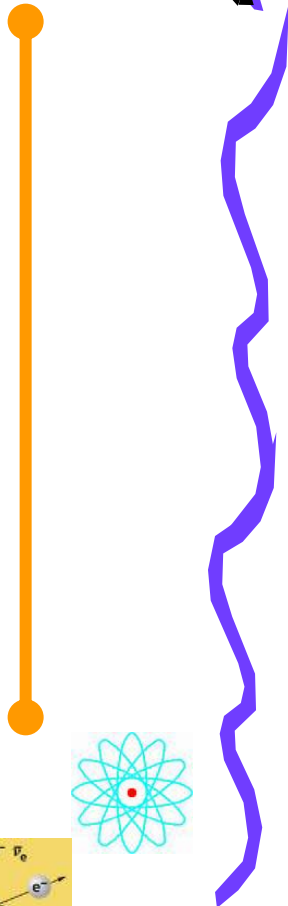


سینماتیک واپاشی بتا



$$Q_{\beta^-} = [m_N({}^A_Z X) - m_N({}^A_{Z+1} X') - m_e] c^2$$

$$m({}^A_Z X) c^2 = m_N({}^A_Z X) c^2 + Z m_e c^2 - \sum_{i=1}^Z B_i$$







دانشگاه پیام نور

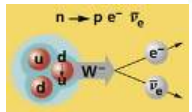
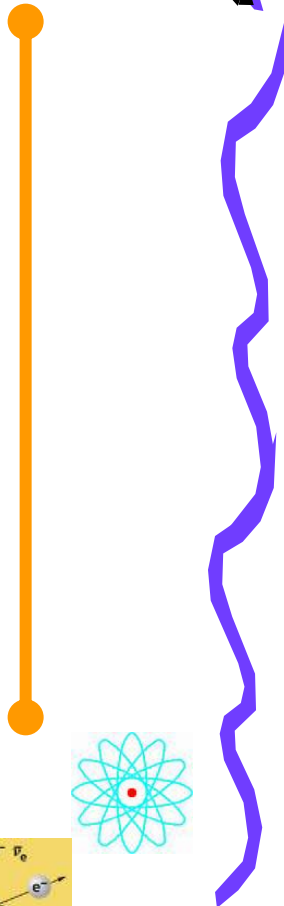
# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



**Bi** نماینده انرژی بستگی الکترون **ام** به هسته است. برحسب جرم اتمی داریم:

$$Q_{\beta^-} = \left\{ \left[ m(^A X) - Zm_e \right] - \left[ m(^A X') - (Z + 1)m_e \right] - m_e \right\} c^2$$

$$+ \left\{ \sum_{i=1}^z B_i - \sum_{i=1}^{z+1} B_i \right\}$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



با چشم پوشی از تفاوت انرژی بستگی الکترونها

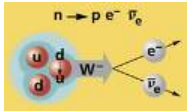
$$Q_{\beta^-} = [m(^A X) - m(^A X')]c^2$$

$$Q_{\beta^-} = T_e + E_{\bar{\nu}}$$

$$(T_e)_{\max} = (E_{\bar{\nu}})_{\max} = Q_{\beta^-}$$

Q انرژی تقسیم شده بین الکترون و نوترینو

در شرایط صفر بودن انرژی هر یک از ذرات



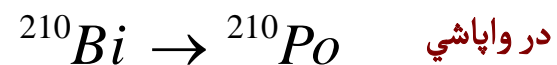


دانشگاه پیام نور

# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



مثال:

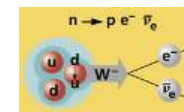
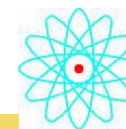


$$Q_{\beta^-} = [m(^{210}\text{Bi}) - m(^{210}\text{Po})]c^2$$

$$= (209.984095u - 209.982848u)(931.502\text{MeV} / u)$$

$$= 1.161\text{MeV}$$

$Q_{\beta^-} \quad (T_e)_{\max} = 1.16\text{MeV}$  سازگاری بین





دانشگاه پیام نور

# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



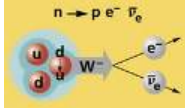
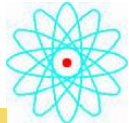
نمونه ای از واپاشی پوزیترون زا



با محاسبات مشابه قبل

$$Q_{\beta^+} = [m({}^A X) - m({}^A X') - 2m_e] c^2$$

در این حالت جرمهای الکترون یکدیگر را خنثی نمی کنند.





دانشگاه پیام نور

# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا



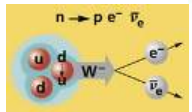
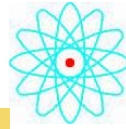
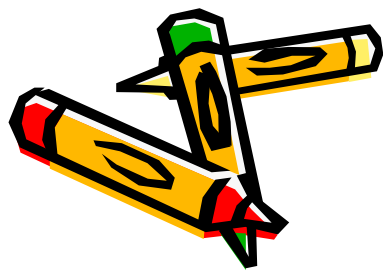
فرایند گیر اندازی الکترون



در این فرایند پرتو X گسیل می شود.

انرژی کل یک یا چند پرتو X گسیل شده با انرژی بستگی الکترون گیراندازی شده برابر است.

$$Q_\epsilon = [m({}^A X) - m({}^A X')]c^2 - B_n$$





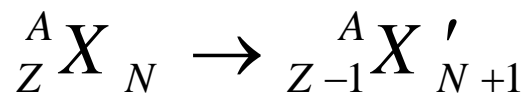
دانشگاه پیام نور

# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتازا

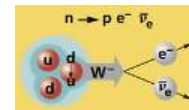
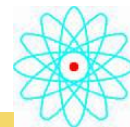


امکان سنجی انجام واپاشی های بتازا

در واپاشی بتازای مثبت و گیر اندازی الکترون



امکان سنجی از نظر انرژی: هسته هایی که برای آنها واپاشی بتازای مثبت از نظر انرژی امکان پذیر است ، می توانند الکترون را هم گیر اندازی کنند ، ولی عکس آن حقیقت ندارد.





دانشگاه پیام نور

# ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا

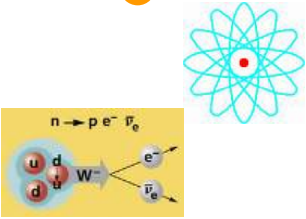
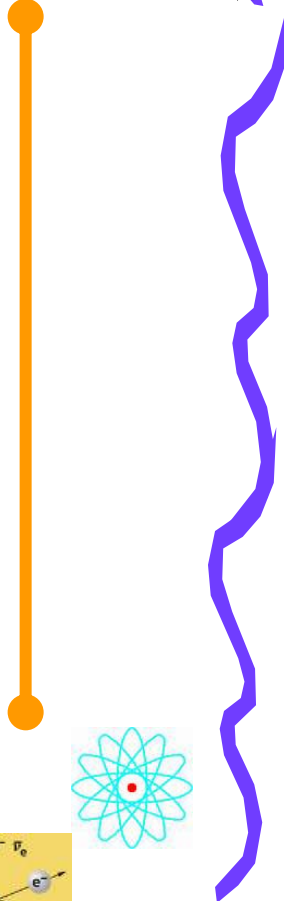


## محاسبه انرژی نوترینو

انرژی نوترینو دارای توزیع پیوسته از صفر تا  $Q$  (منهای انرژی قابل چشم پوشی هسته) است. در گیر اندازی الکترون ، حالت نهایی دو جسمی سبب می شود که مقادیر انرژی پس زنی و انرژی نوترینو منحصر به فرد باشد.

با چشم پوشی از انرژی پس زنی ، نوترینوی تک انرژی با انرژی گسیل می شود.

$$Q_\epsilon$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتا

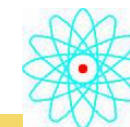
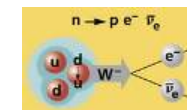


انرژی حالت برانگیخته:

مطالب قبل مربوط به حالت پایه است.

اگر حالت نهایی هسته یک حالت برانگیخته باشد

$$Q_{ex} = Q_{gr} - E_{ex}$$





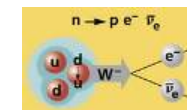
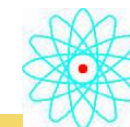


دانشگاه پیام نور

## ادامه آزاد شدن انرژی در واپاشی بتازا

جدول ۱۰۹ نمونه‌هایی از فرایندهای واپاشی بتازا.

$t_{1/2}$	$Q(\text{MeV})$	نوع	واپاشی
۲۸s	۲٫۲۴۸	$\beta^-$	${}^{23}\text{Ne} \rightarrow {}^{23}\text{Na} + e^- + \bar{\nu}$
$2.1 \times 10^5 \text{y}$	۰٫۲۲۹	$\beta^-$	${}^{99}\text{Tc} \rightarrow {}^{99}\text{Ru} + e^- + \bar{\nu}$
۷٫۲۲s	۳٫۲۴۶	$\beta^+$	${}^{25}\text{Al} \rightarrow {}^{25}\text{Mg} + e^+ + \nu$
۴٫۲۲d	۲٫۲۱۴	$\beta^+$	${}^{124}\text{I} \rightarrow {}^{124}\text{Te} + e^+ + \nu$
۱٫۲۲۲s	۲٫۲۲۵	$\epsilon$	${}^{15}\text{O} + e^- \rightarrow {}^{15}\text{N} + \nu$
$1.2 \times 10^5 \text{y}$	۰٫۲۲۳	$\epsilon$	${}^{41}\text{Ca} + e^- \rightarrow {}^{41}\text{K} + \nu$





دانشگاه پیام نور

ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



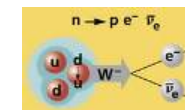
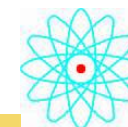
شکل طیف بتا

$$(Q - T_e) \propto \sqrt{\frac{N(p)}{p^2 F(Z', p)}}$$

نمودار کوری:

تغییرات  $\sqrt{N(p)/p^2 F(Z', p)}$  (انرژی) است و با تعیین انرژی نقطه پایانی می توان  $Q$  را به دست آورد.

$F$  تابع فرمی،  $N$  تعداد الکترونها با تکانه  $p$ ،  $p$  تکانه الکترون



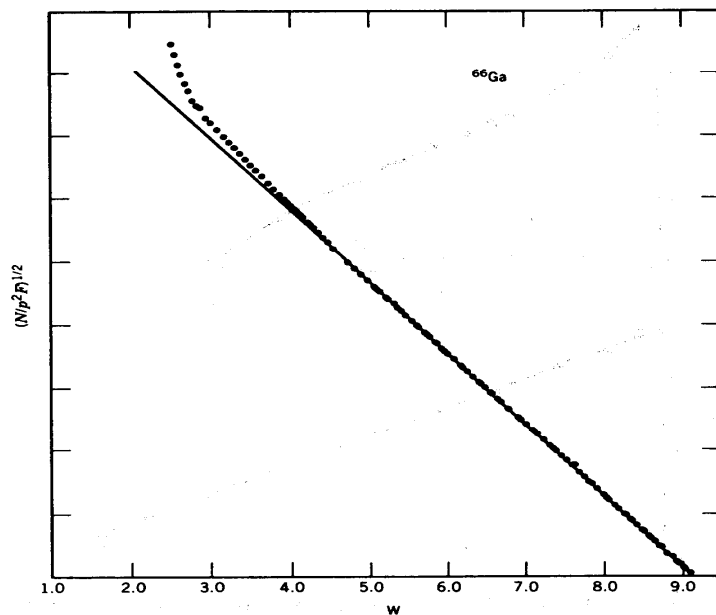


دانشگاه پیام نور

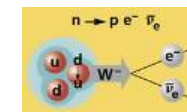
# ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



## نمودار فرمی-کوری



شکل ۴۰۹ نمودار فرمی-کوری برای واپاشی مجاز  $\beta^+$  در  $^{66}\text{Ga}$ . مقیاس افقی، انرژی کل نسبی  $(T_e + m_e c^2)$  بر حسب  $m_e c^2$  است. انحراف از خط راست در انرژی کم، از پراکندگی الکترونیهای کم انرژی در داخل چشمه رادیواکتیو ناشی می‌شود.





دانشگاه پیام نور

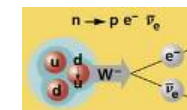
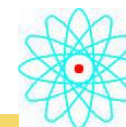
## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی

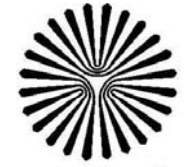


در واپاشی های مجاز نمودار فرمی خط راست است.

در واپاشی های غیر مجاز نوع اول به صورت خط نیست ولی با دخالت دادن عامل  
شکل **S** منحنی

$S(p, q) = F(Z', p) \sqrt{p^2 + m^2} \sqrt{q^2 + m^2} W$  خطی بودن به آن باز می گردد.



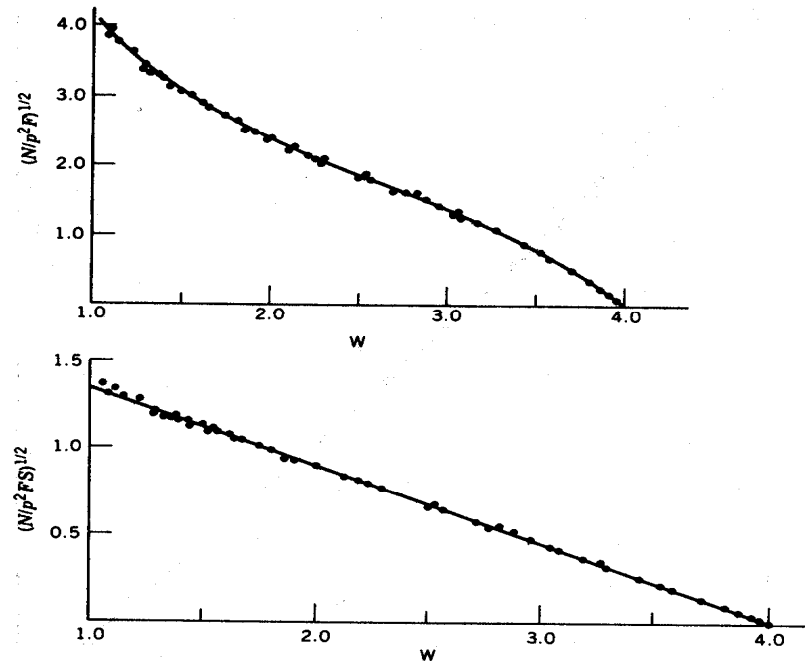


دانشگاه پیام نور

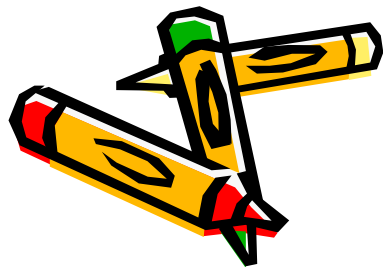
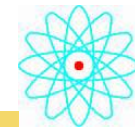
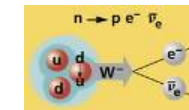
## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



عامل شکل ، نمودار فرمی-کوری و پاشی های ممنوع را به صورت خط در می آورد.



شکل ۵۰۹ نمودار فرمی-کوری تصحیح نشده برای واپاشی بتایزای  $^{90}\text{Y}$  (پسالا). با در نظر گرفتن عامل شکل  $S(p, q)$  منظره خطی بازگردانده می شود. برای این نوع واپاشیهای ممنوع اول، با استفاده از عامل شکل  $p^2 + q^2$  نمودار خطی حاصل می شود (پایین).





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



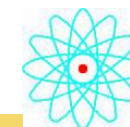
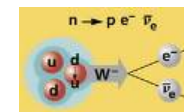
آهنگ واپاشی کل:

برای واپاشی های مجاز

$$\lambda = \frac{g^2 |M_{fi}|^2}{2\pi^3 \hbar^7 c^3} \int_0^{p_{\max}} F(Z', p) p^2 (Q - T_e)^2 dp$$

انتگرال فرمی یا ثابت واپاشی بتا زا

$$F(Z', E_0) = \frac{1}{(m_e c)^3 (m_e c^2)} \int_0^{p_{\max}} F(Z', p) p^2 (E_0 - E_e)^2 dp$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



انتگرال فرمی ثابت تلاشی را می دهد و در جدولها موجود است.

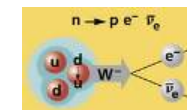
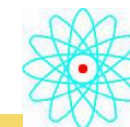
$$\lambda = 0.693 / t_{1/2}$$

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

با توجه به

$$ft_{1/2} = 0.693 \frac{2\pi^3 h^7}{g^2 m_e^5 c^4 |M_{fi}|^2}$$

این کمیت را نیمه عمر تطبیقی یا مقدار **ft** می نامند.





دانشگاه پیام نور

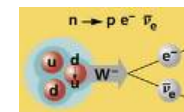
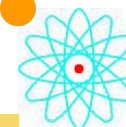
## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی



نیمه عمر تطبیقی برای مقایسه احتمالات واپاشی بتا با کار می رود.

تفاوت مقادیر مختلف  $ft$  به علت تفاوت جزء ماتریس هسته هاست.

$M_{fi}$  جزء ماتریس هسته است.







دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی

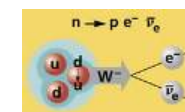
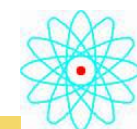


$$0^+ \rightarrow 0^+$$

مقادیر  $ft$  برای واپاشی های ابر مجاز

جدول ۳.۹ مقادیر  $ft$  برای واپاشیهای ابرمجاز  $0^+ \rightarrow 0^+$

$f t(s)$	واپاشی
$3100 \pm 31$	$^{10}\text{C} \rightarrow ^{10}\text{B}$
$3092 \pm 4$	$0^+ \rightarrow 0^+ \text{O} \rightarrow ^{14}\text{N}$
$3084 \pm 76$	$^{18}\text{Ne} \rightarrow ^{18}\text{F}$
$3014 \pm 78$	$^{22}\text{Mg} \rightarrow ^{22}\text{Na}$
$3081 \pm 4$	$^{26}\text{Al} \rightarrow ^{26}\text{Mg}$
$3052 \pm 51$	$^{26}\text{Si} \rightarrow ^{26}\text{Al}$
$3120 \pm 82$	$^{30}\text{S} \rightarrow ^{30}\text{P}$
$3087 \pm 9$	$^{34}\text{Cl} \rightarrow ^{34}\text{S}$
$3101 \pm 20$	$^{34}\text{Ar} \rightarrow ^{34}\text{Cl}$
$3102 \pm 8$	$^{38}\text{K} \rightarrow ^{38}\text{Ar}$
$3145 \pm 138$	$^{38}\text{Ca} \rightarrow ^{38}\text{K}$
$3091 \pm 7$	$^{42}\text{Sc} \rightarrow ^{42}\text{Ca}$
$3275 \pm 1039$	$^{42}\text{Ti} \rightarrow ^{42}\text{Sc}$
$3082 \pm 13$	$^{46}\text{V} \rightarrow ^{46}\text{Ti}$
$2824 \pm 657$	$^{46}\text{Cr} \rightarrow ^{46}\text{V}$
$3086 \pm 8$	$^{50}\text{Mn} \rightarrow ^{50}\text{Cr}$
$3091 \pm 5$	$^{54}\text{Co} \rightarrow ^{54}\text{Fe}$
$2529 \pm 1280$	$^{62}\text{Ga} \rightarrow ^{62}\text{Zn}$





دانشگاه پیام نور

ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی

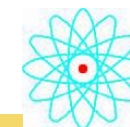
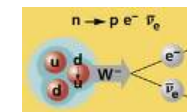


مقدار ثابت شدت واپاشی بتازا

$$g = 0.88 \times 10^{-4} \text{ MeV} \cdot \text{fm}^3$$

نسبت بدون بعد (ثابت شدت)

$$G = \frac{g}{m^{-2} h^3 c^{-1}} = g \frac{m^2 c}{h^3}$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



درجه بندی برهم کنش های اساسی نوکلئون نوکلئون بر حسب شدت (G)

1

پیون-نوکلئون ("قوی")

$10^{-2}$

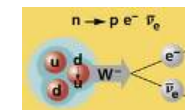
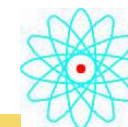
الکترو مغناطیسی

$10^{-5}$

وایشی بتازا ("ضعیف")

$10^{-39}$

گرانشی





## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی

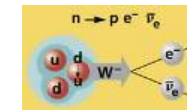
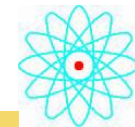
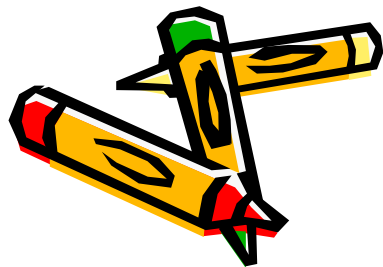


واپاشی بتا زا در رده بندی برهمکنش های ضعیف قرار دارد و با پارامتر شدت  $g$  شناخته می شود.

برهم کنش عمومی فرمی:

به علت موفقیت قابل توجه نظریه فرمی ، این برهم کنش ها را با این عنوان می شناسند.

برهمکنش های ضعیف ، با استفاده از ذرات تبادلی (معروف به بوزونهای برداری میانه) توصیف می شوند.





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی



### جرم نوترینو

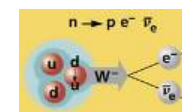
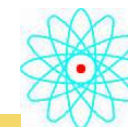
نظریه فرمی بر مبنای فرض جرم سکون صفر برای نوترینو استوار است.

### روش اول تعیین جرم نوترینو:

۱. محاسبه مقدار  $Q$  واپاشی از معادله (۶-۹) یا (۹-۹)

۲. محاسبه مقدار  $Q$  از انرژی بیشینه ذرات بتا

۳. محاسبه جرم نوترینو با مقایسه این دو





دانشگاه پیام نور

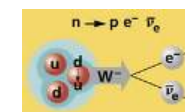
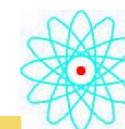
## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی



ادامه جرم نوترینو

روش بهتر تعیین جرم نوترینو:

- استفاده از شکل طیف بتا در نواحی پایانی ، در این نقطه انرژی جنبشی نوترینو به صفر می رسد.
- بررسی شیب منحنی  $N(p)$  در نقاط پایانی





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی



### ادامه جرم نوترینو

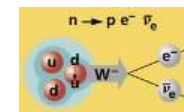
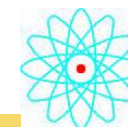
انرژی نوترینو در نقطه پایانی کاهش می یابد و نا نسبیتی بررسی می شود

$$N(p) \propto p^2 \left[ Q - \sqrt{p^2 c^2 + m_e^2 c^4} + m_e c^2 \right]^{1/2}$$

کمیت داخل کروشه درست برابر  $(Q - T_e)$  و در نقطه پایانی صفر است.

برحسب انرژی

$$N(T_e) \propto (T_e^2 + 2T_e m_e c^2)^{1/2} (Q - T_e)^{1/2} (T_e + m_e c^2)$$





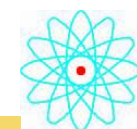
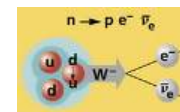
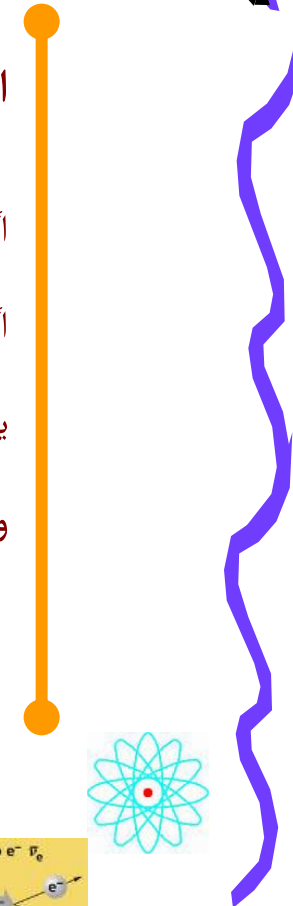
دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی



### ادامه جرم نوترینو

$dN/dp \rightarrow 0$  اگر در نقطه پایانی  $m_\nu = 0$  داریم  
 $dN/dp \rightarrow \infty$  اگر در این نقطه  $m_\nu > 0$  باشد خواهیم داشت  
 یعنی طیف تکانه برای  $m_\nu = 0$  با شیب صفر  
 و برای  $m_\nu > 0$  بی نهایت به نقطه پایان میل می کند.

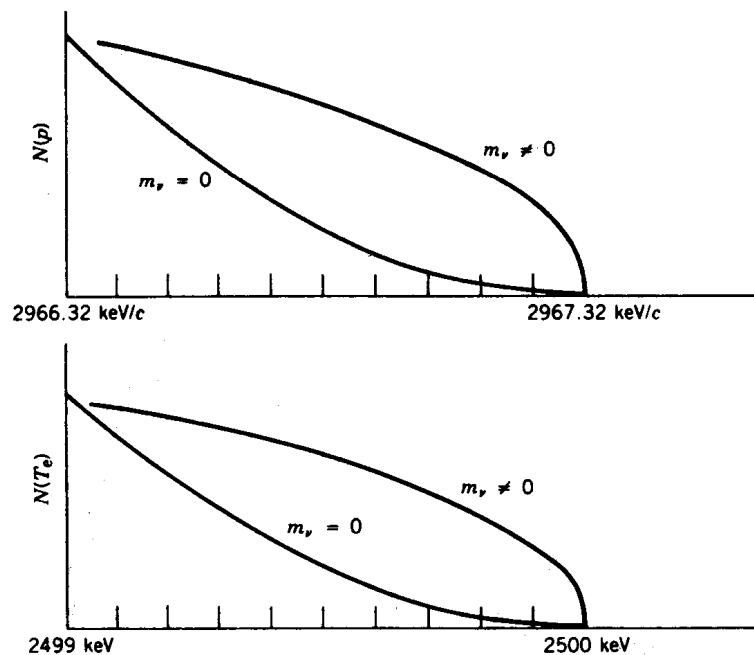




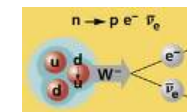
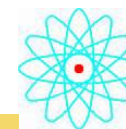


دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



شکل ۶۰۹ نمودار گسترش یافته حد فوقانی (یا ناحیه آخرین keV) طیفهای تکانه و انرژی شکل ۲۰۹. ضرایب بهنجارش اختیاری اند، اما نکته قابل توجه تفاوت شکل طیفها برای حالت های  $m_\nu \neq 0$  و  $m_\nu = 0$  است. شیب منحنی در نقطه پایان، برای  $m_\nu = 0$  برابر صفر و برای  $m_\nu \neq 0$  بی نهایت است.





دانشگاه پیام نور

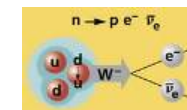
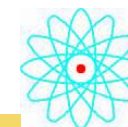
## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی

نخستین پژوهشگران در این زمینه ، لانگر و موفات ، حد بالای  $200 \text{ eV} < m_{\nu 2}$  را گزارش کردند.

برگویست این حد را به  $60 \text{ eV}$  تقلیل داد.

جرم نوترینو براساس آخرین آزمایشها بین  $14 \text{ eV}$  تا  $46 \text{ eV}$

اخیرا حد بالای  $20 \text{ eV}$  پیشنهاد شده است.





دانشگاه پیام نور

## ادامه آزمونهای تجربی ((کلاسیک)) برای نظریه فرمی

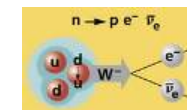
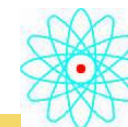


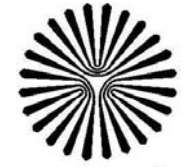
اهمیت دانستن جرم نوترینو:

اگر جرم نوترینو بزرگتر از صفر باشد، تبدیل نوترینوهای الکترونی به سایر نوترینوها مجاز است.

این تبدیل توجیه کننده:

- تعداد نوترینوهای خورشیدی  $3/1$  تعداد پیش بینی شده است.
- اگر نوترینو بی جرم باشد؛ امکان ایجاد جاذبه گرانشی را برای بسته شدن جهان (یعنی توقف و معکوس شدن انبساط آن) ندارد.



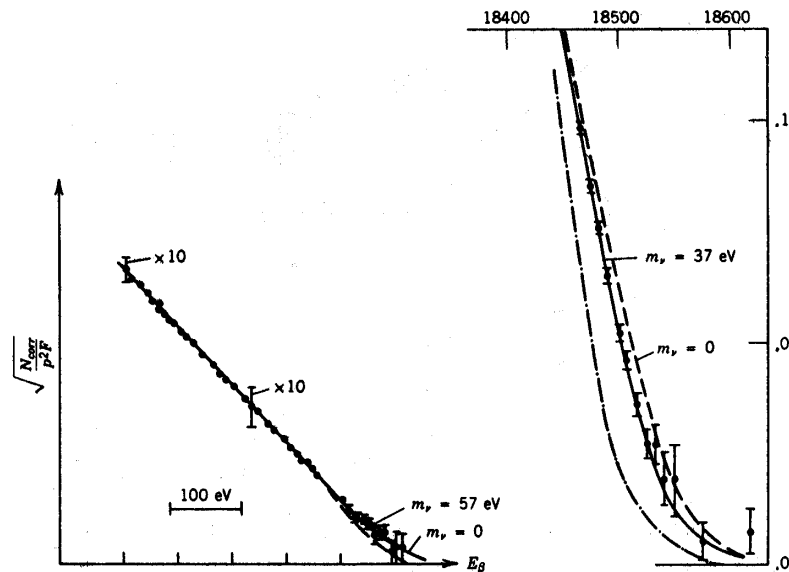


دانشگاه پیام نور

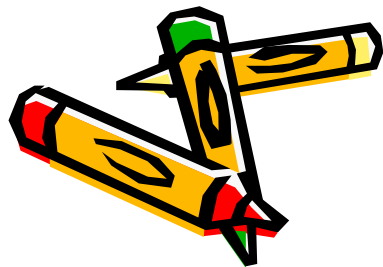
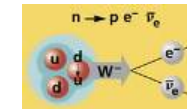
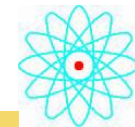
## ادامه آزمونهای تجربی (کلاسیک) برای نظریه فرمی



### تعیین تجربی جرم نوترینو



شکل ۷.۹ تعیین تجربی جرم نوترینو با استفاده از واپاشی بتای تریتم ( ${}^3\text{H}$ ). اطلاعات سمت چپ با جرم صفر توافق دارند و نمایانگر حد بالای  $60\text{ eV}$  هستند. به نظرمی رسد که اطلاعات جدیدتر مقدار غیر صفری در حدود  $30\text{ eV}$  را مطرح می کنند. اما، این اطلاعات باید با توجه به تفکیک دستگاه اندازه گیری و اثرات حالت اتمی تصحیح شوند و ممکن است با جرم صفر سازگار باشند.





دانشگاه پیام نور

## ۹-۲ قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

### واپاشیهای مجاز

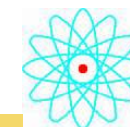
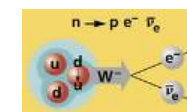
فرض می شود تکانه مداری الکترون و نوترینو صفر است و فقط اسپین آن دو در تغییر تکانه زاوی ای هسته موثر است.

$$\Delta I = |I_i - I_f| = 0$$

$$I_i = I_f + 1$$

واپاشی فرمی

واپاشی گاموف-تیلر





دانشگاه پیام نور

ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



قواعد گزینش برای واپاشیهای بتای مجاز

$\Delta I = 0, 1$        $\Delta \pi$       نه = (تغییر پاریته)

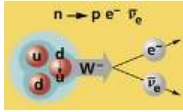
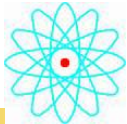
نمونه واپاشیهای بتازای مجاز



این نمونه صد در صد از نوع فرمی است



صد در صد از نوع گاموف - تتر است.





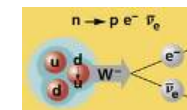
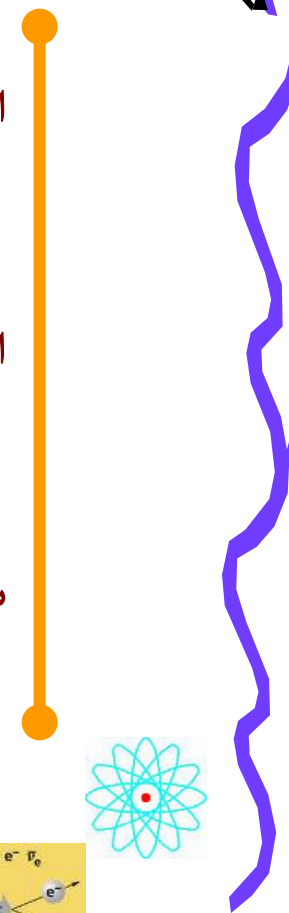
دانشگاه پیام نور

## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

اگر  $I_f = 0$  و  $I_i = 0$  گذار فرمی است.  $\Delta I = 0$

اگر  $I_f = I_i \neq 0$  و  $\Delta I = 0$  گذار مخلوط گاموف-تیلر و فرمی است.

سهم  $F$  و  $GT$  با توجه به تابع موجهای اولیه و نهایی تعیین می شود.





دانشگاه پیام نور

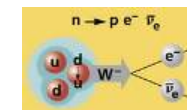
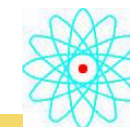
## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



نسبت دامنه های فرمی و گاموف-تله:

$$y = \frac{g_f M_f}{g_{GT} M_{GT}}$$

به کمک نسبت دامنه های فرمی و گاموف-تله سهم  $F$  و  $G$  تعیین می شود.



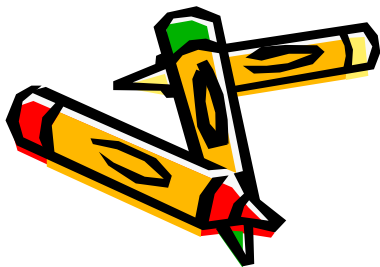
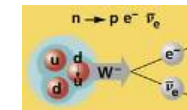
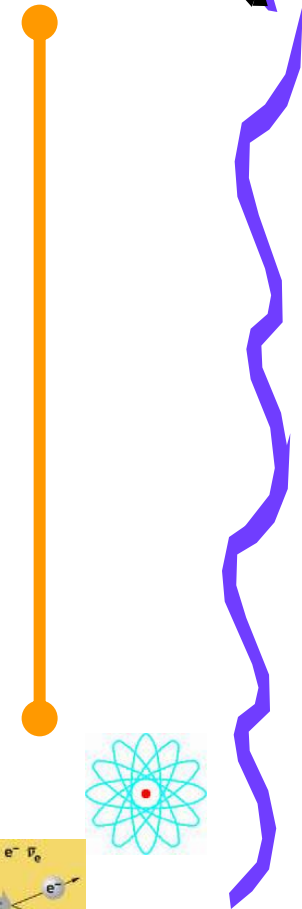




## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

جدول ۳۰۹ نسبت اجزای ماتریس فرمی به گاموف تیلر.

%GT	%F	$= g_F M_F / g_{GT} M_{GT}$	واباشی	
۸۲	۱۸	$0.467 \pm 0.003$	$n \rightarrow p$	واباشیهای آینه‌ای
۸۱	۱۹	$0.479 \pm 0.001$	${}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$	
۲۴	۷۶	$1.779 \pm 0.006$	${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C}$	
۳۳	۶۷	$1.416 \pm 0.012$	${}^{21}\text{Na} \rightarrow {}^{21}\text{Ne}$	
۵۳	۴۷	$0.949 \pm 0.003$	${}^{41}\text{Sc} \rightarrow {}^{41}\text{Ca}$	
۹۹.۹۵۶	۰.۰۴۴	$-0.021 \pm 0.007$	${}^{24}\text{Na} \rightarrow {}^{24}\text{Mg}$	واباشیهای غیر آینه‌ای
۹۹.۹۲۷	۰.۰۷۳	$+0.027 \pm 0.011$	${}^{41}\text{Ar} \rightarrow {}^{41}\text{K}$	
۹۹.۹۴۷	۰.۰۵۳	$-0.023 \pm 0.005$	${}^{46}\text{Sc} \rightarrow {}^{46}\text{Ti}$	
۹۸	۲	$-0.144 \pm 0.006$	${}^{52}\text{Mn} \rightarrow {}^{52}\text{Cr}$	
$> 99.96$	$< 0.04$	$-0.002 \pm 0.019$	${}^{65}\text{Ni} \rightarrow {}^{65}\text{Cu}$	





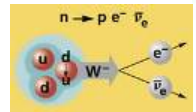
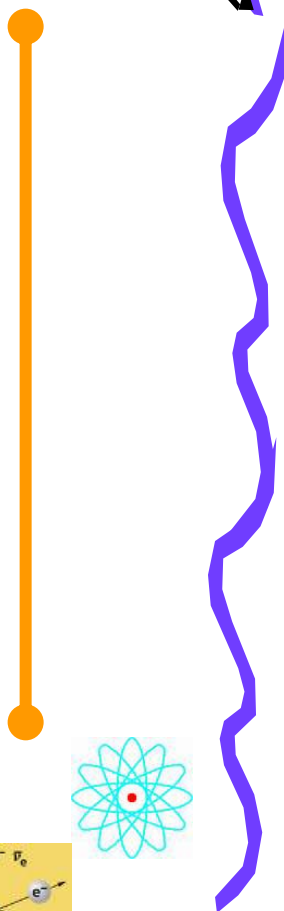
دانشگاه پیام نور

ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



واپاشیهای ممنوع

$\Delta I = 0, 1, 2$	$\Delta \pi = \text{آری}$	نوع اول:
$\Delta I = 2, 3$	$\Delta \pi = \text{نه}$	نوع دوم:
$\Delta I = 4$ یا $\Delta I = 3$	$\Delta \pi = \text{آری}$	نوع سوم:
$\Delta I = 5$ یا $\Delta I = 4$	$\Delta \pi = \text{نه}$	نوع چهارم:

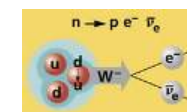
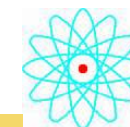
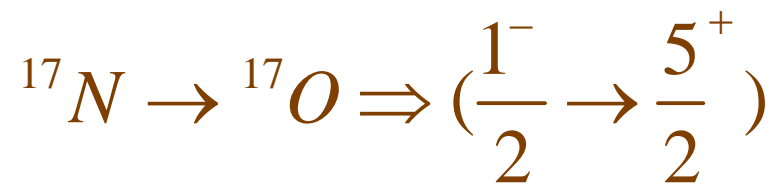




دانشگاه پیام نور

## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

مثالهای و پاشیهای ممنوع نوع اول



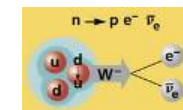
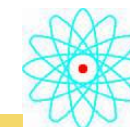
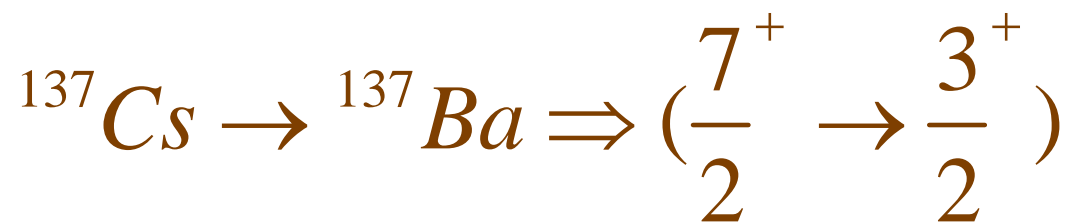
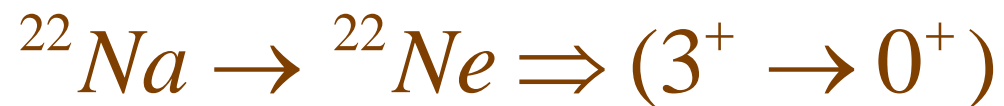


دانشگاه پیام نور

## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



مثالهای واپاشیهای ممنوع نوع دوم



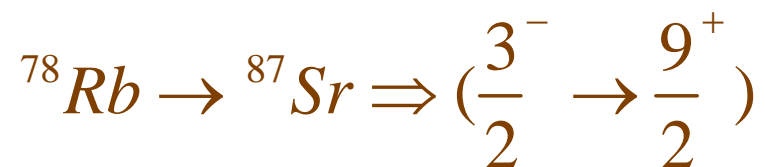


دانشگاه پیام نور

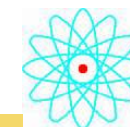
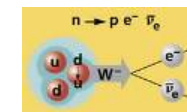
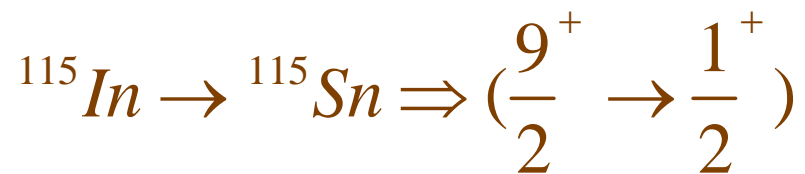
## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



مثالهای واپاشیهای ممنوع نوع سوم



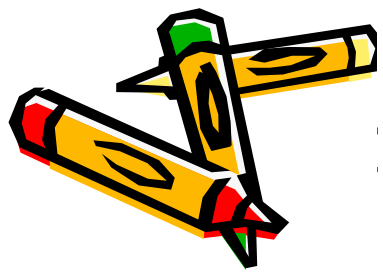
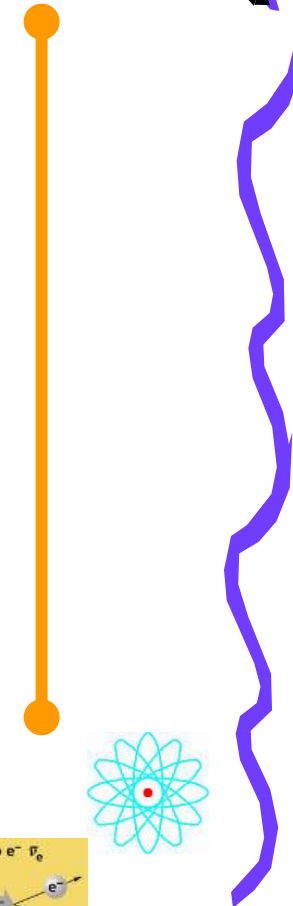
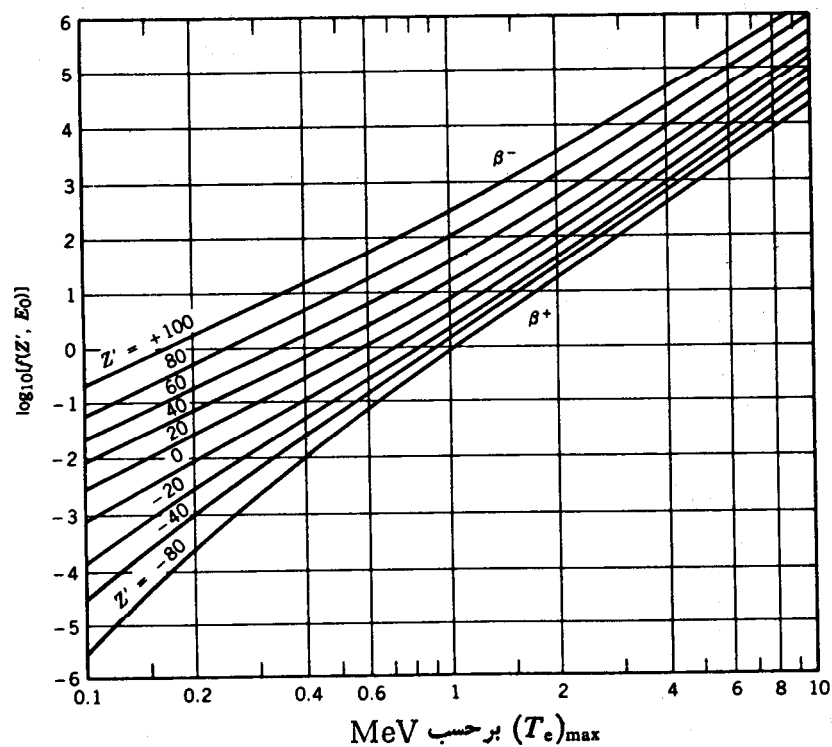
مثال واپاشیهای ممنوع نوع چهارم



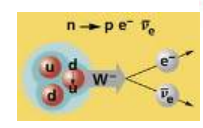


دانشگاه پیام نور

# ۵-۹ نیمه عمر های تطبیقی و واپاشیهای ممنوع



شکل ۸.۹ انتگرال فرمی که با معادله (۲۹.۹) تعریف شده است. عدد اتمی  $Z'$  مربوط به هسته دختر است؛ منحنیهای با  $Z'$  مثبت برای واپاشی بتازای منفی و  $Z'$  منفی برای واپاشی بتازای مثبت در نظر گرفته شده اند.

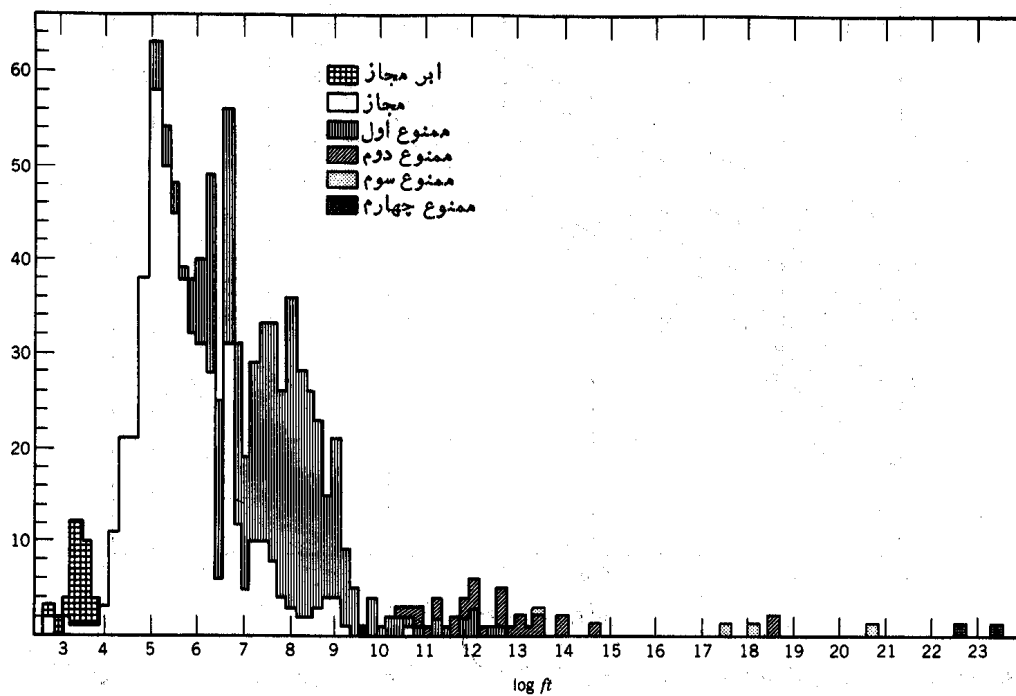




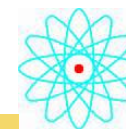
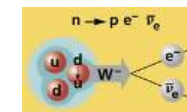
دانشگاه پیام نور

## ادامه نیمه عمر های تطبیقی و واپاشیهای ممنوع

مقایسه واپاشیهای بتا برای گسیلنده های شناخته شده بتا



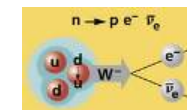
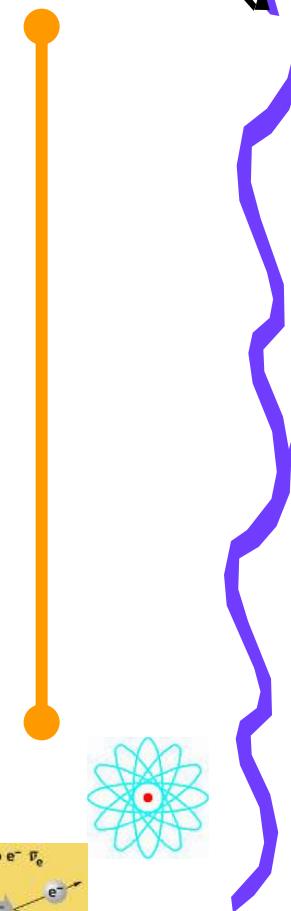
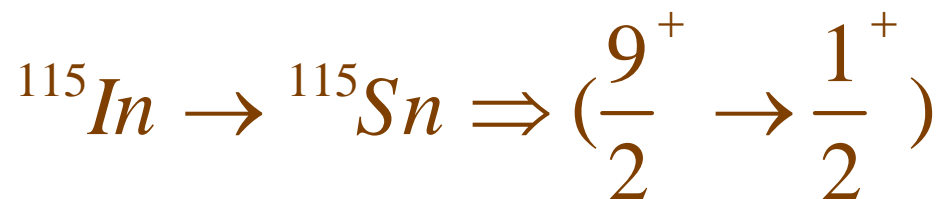
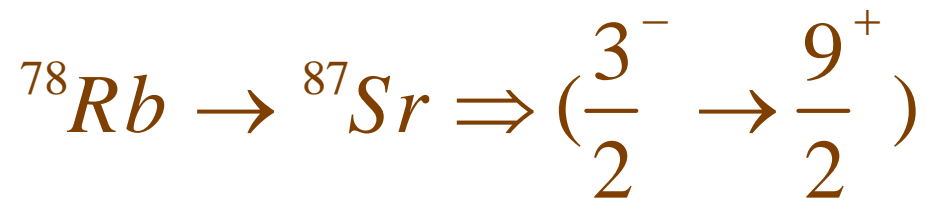
شکل ۹.۹ توزیع تجربی مقادیر لگاریتم نیمه عمرهای تطبیقی ( $\log ft$ ).





دانشگاه پیام نور

ادامه نیمه عمر های تطبیقی و واپاشیهای ممنوع







دانشگاه پیام نور

## فصل ۱۰: واپاشی گاما



۱-۱۰ انرژی واپاشی های گاما

۲-۱۰ تابش الکترومغناطیسی کلاسیک

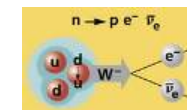
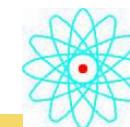
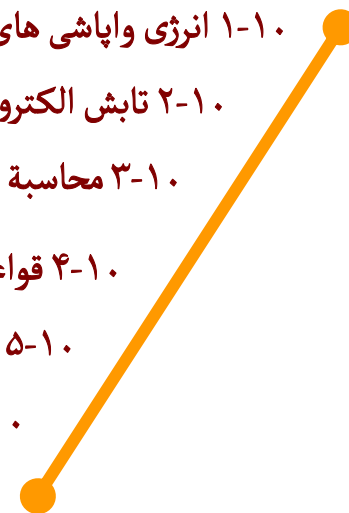
۳-۱۰ محاسبه مکانیک کوانتومی

۴-۱۰ قواعد گزینش تکانه زاویه ای و قطبیدگی

۵-۱۰ اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی

۶-۱۰ تبدیل داخلی

۷-۱۰ طول عمرهای گسیل



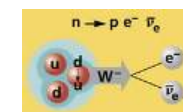
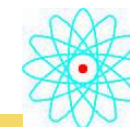


## فصل ۱۰: واپاشی گاما



**خلاصه درس:** در این فصل با مفهوم واپاشی گاما

- روش محاسبه انرژی واپاشی
- ملاحظات کلاسیک و مکانیک کوانتومی مربوطه
- قواعد گزینش
- اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی
- تبدیل داخلی و مقایسه آن با واپای گاما
- و طول عمر های گسیل گاما آشنا می شویم.





دانشگاه پیام نور

## ۱-۱۰ انرژی واپاشی های گاما

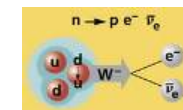
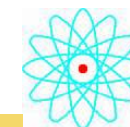


با توجه به پایستگی انرژی و تکانه

$$E_i = E_f + E_\gamma + T_R$$

$$0 = p_\gamma + p_R$$

$$\Delta E = E_\gamma + \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2}$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه انرژی واپاشی های گاما

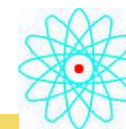
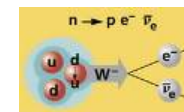


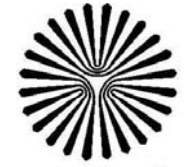
جواب معادله

$$E_{\gamma} = Mc^2 \left[ -1 \pm \left( 1 + 2 \frac{\Delta E}{Mc^2} \right)^{1/2} \right]$$

$$E_{\gamma} \cong \Delta E - \frac{(\Delta E)^2}{2Mc^2}$$

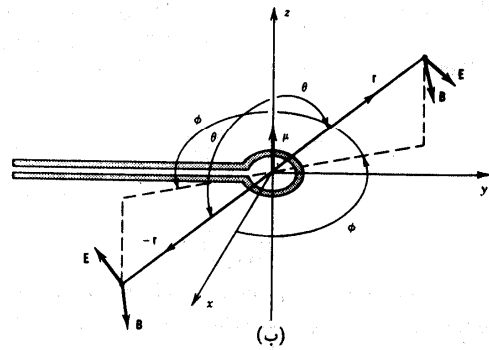
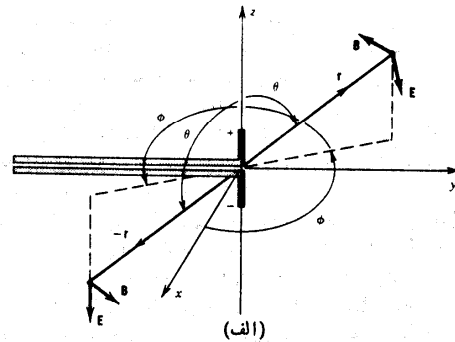
انرژی گاما





دانشگاه پیام نور

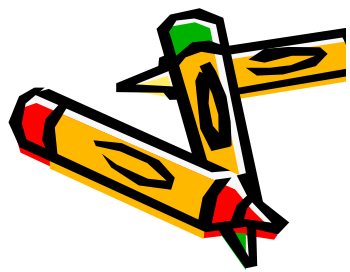
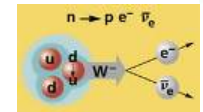
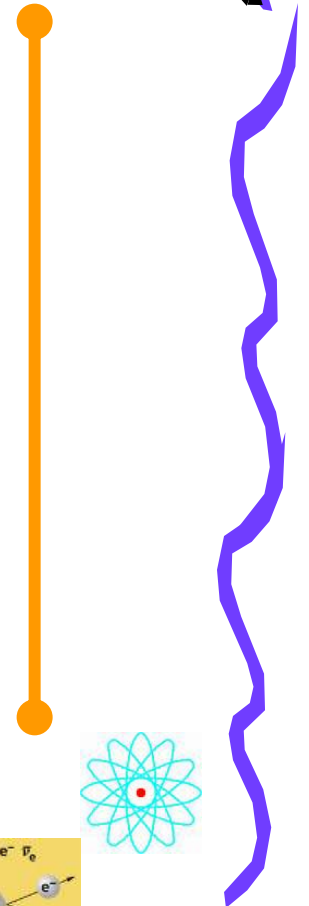
# ۱-۲ تابش الکترومغناطیسی کلاسیک



متوسط توان تابیده توسط دو قطبی الکتریکی:

$$P = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} \frac{\omega^4}{c^3} d^2$$

شکل ۱۰۱۵ میدانهای الکتریکی و مغناطیسی حاصل از یک دوقطبی الکتریکی و (ب) یک دوقطبی مغناطیسی. در هر مورد گشتاور دوقطبی در امتداد محور z است. بردارهای میدانهای تابش E و B را در لحظه خاصی از زمان نشان می‌دهند. سیمهای در امتداد منفی محور z را باید متصل به یک منبع جریان بسامد  $\omega$  در نظر گرفت که برای جلوگیری از دخالت آنها در تابش باید هیچ خورده باشند. رفتار E و B تحت انکسار فضایی  $\mathbf{r} \rightarrow -\mathbf{r}$  نیز نشان داده شده است. به تفاوت دومورد توجه کنید.

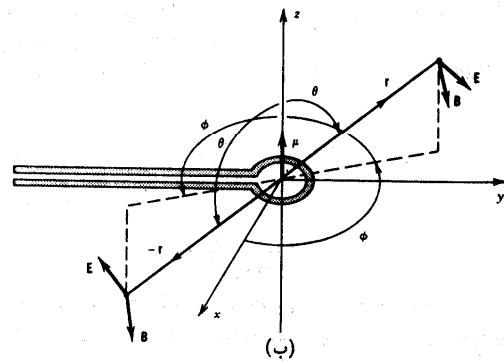
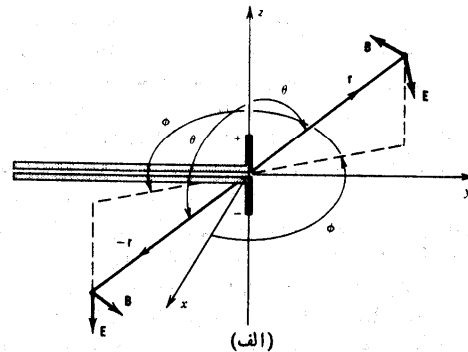




Microsoft Equation 3.0



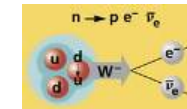
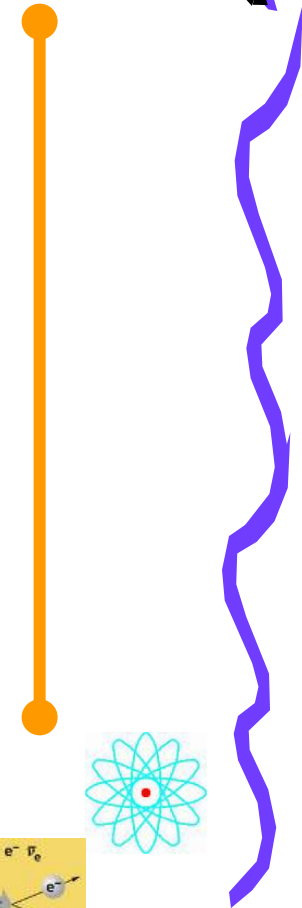
# ۱-۲ تابش الکترومغناطیسی کلاسیک



متوسط توان تابیده توسط دو قطبی  
مغناطیسی:

$$p = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} \frac{\omega^4}{c^5} \mu^2$$

شکل ۱۰۱۵ میدانهای الکتریکی و مغناطیسی حاصل از یک دو قطبی الکتریکی و (ب) یک دو قطبی مغناطیسی. در هر مورد گشتاور دو قطبی در امتداد محور z است. بردارهای میدانهای تابش E و B را در لحظه خاصی از زمان نشان می‌دهند. سیمهای در امتداد منفی محور و را باید متصل به یک منبع جریان بسازد که در نظر گرفت که برای جلوگیری از دخالت آنها در تابش باید هیچ خورده باشند. رفتار E و B تحت انکسار فضای  $\mathbf{r} \rightarrow -\mathbf{r}$  نیز نشان داده شده است. به تفاوت دومورد توجه کنید.





دانشگاه پیام نور

# ادامه تابش الکترومغناطیسی کلاسیک



تعمیم به چند قطبی

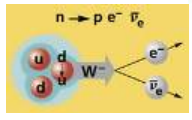
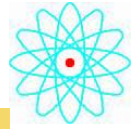
۱. توزیع زاویه ای تابش قطبی، نسبت به یک جهت انتخابی مناسب به صورت

است. متداول ترین موارد عبارتند از:  $P_{2L}(3 \cos^2 \theta - 1)$

چند جمله ای لژاندر

چند جمله ای لژاندر برای دو قطبی

$$P_2 = (1/2)(3 \cos^2 \theta - 1)$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه تابش الکترومغناطیسی کلاسیک



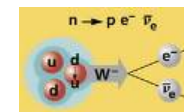
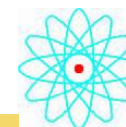
چند جمله ای لژاندر برای چار قطبی

$$p_4 = \frac{1}{8} (35 \cos^4 \theta - 30 \cos^2 \theta + 3)$$

$$\pi(ML) = (-1)^{L+1}$$

$$\pi(EL) = (-1)^L$$

۲. پاریته میدان تابش





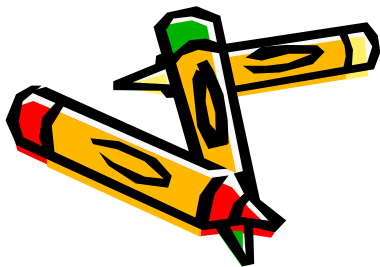
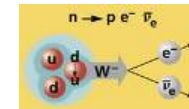
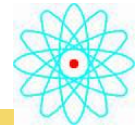
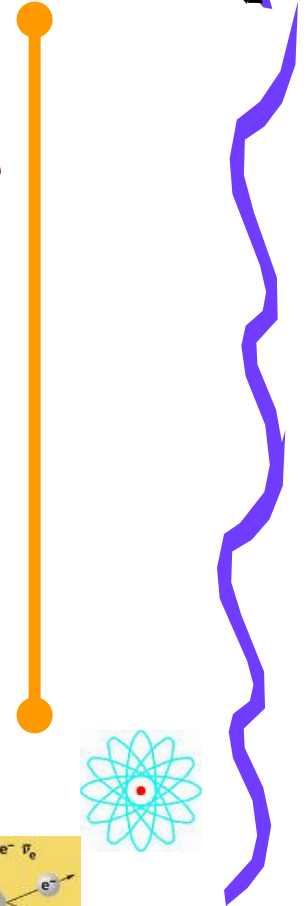


دانشگاه پیام نور

## ادامه تابش الکترومغناطیسی کلاسیک

۳. توان تابیده ، با نمایش  $\sigma = E$  یا  $\sigma = M$  به عنوان تابش الکتریکی یا مغناطیسی ، عبارتست از

$$p(\sigma L) = \frac{2(L+1)c}{\epsilon_0 L [(2L+1)!!]^2} \left(\frac{\omega}{c}\right)^{2L+2} [m(\sigma L)]^2$$





دانشگاه پیام نور

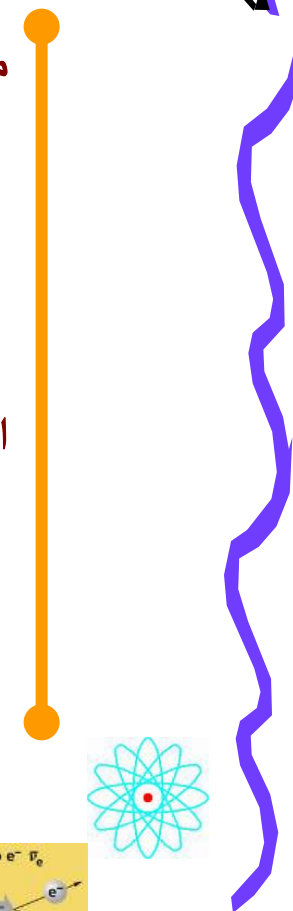
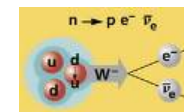
## ۱-۳ محاسبه مکانیک کوانتومی

محاسبه احتمال واپاشی از جزء ماتریس مربوط به عملگر چند قطبی

$$m_{fi}(\sigma L) = \int \psi_f^* m(\sigma L) \psi_i dv$$

احتمال گسیل فوتون در واحد زمان (یعنی ثابت واپاشی)

$$\lambda(\sigma L) = \frac{P(\sigma L)}{h\omega} = \frac{2(L+1)}{\varepsilon_0 h L [(2L+1)!!]^2} \left(\frac{\omega}{c}\right)^{2L+1} [m_{fi}(\sigma L)]^2$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه محاسبه مکانیک کوانتومی

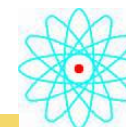
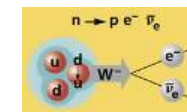


قسمت شعاعی احتمال گذار

$$\int_0^R r^2 r^L dr / \int_0^R r^2 dr = \frac{3}{L+3} R^L$$

احتمال گذار  $EL$

$$\lambda(EL) \cong \frac{8\pi(L+2)}{L[(2L+1)!!]^2} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 hc} \left(\frac{E}{hc}\right)^{2L+1} \left(\frac{3}{L+3}\right)^2 cR^{2L}$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه محاسبه مکانیک کوانتومی



برآورد های وایسکوف برای احتمال گذار **EL**

$$\lambda(E1) = 1.0 \times 10^{14} A^{2/3} E^3$$

دوقطبی الکتریکی

$$\lambda(E2) = 7.3 \times 10^7 A^{4/3} E^5$$

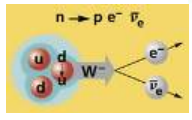
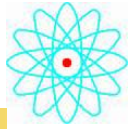
چارقطبی الکتریکی

$$\lambda(E3) = 34 A^2 E^7$$

هشت قطبی الکتریکی

$$\lambda(E4) = 1.1 \times 10^{-5} A^{8/3} E^9$$

۱۶ قطبی الکتریکی





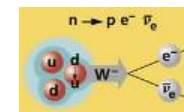
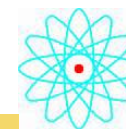
دانشگاه پیام نور

## ادامه محاسبه مکانیک کوانتومی



احتمال گذار  $ML$

$$\lambda(ML) \cong \frac{8\pi(L+1)}{L[(2L+1)!!]^2} \left(\mu_p - \frac{1}{L+1}\right)^2 \left(\frac{\hbar}{m_p c}\right)^2 \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c}\right) \times$$
$$\left(\frac{E}{\hbar c}\right)^{2L+1} \left(\frac{3}{L+2}\right) c R^{2L-2}$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه محاسبه مکانیک کوانتومی



برآورد های وایسکوف برای احتمال گذار  $ML$

$$\lambda(M 1) = 5.6 \times 10^{13} E^3$$

دوقطبی مغناطیسی

$$\lambda(M 2) = 2.5 \times 10^7 A^{2/3} E^5$$

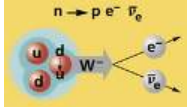
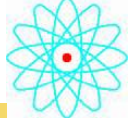
چارقطبی مغناطیسی

$$\lambda(M 3) = 16 A^{4/3} E^7$$

۸ قطبی مغناطیسی

$$\lambda(M 4) = 4.5 \times 10^{-6} A^2 E^9$$

۱۶ قطبی مغناطیسی





دانشگاه پیام نور

## ۱۰-۴ قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



میدان الکترومغناطیسی گسیل کننده انرژی و تکانه زاویه ای است. آهنگ تابش تکانه با آهنگ تابش انرژی متناسب است

براساس پایستگی تکانه

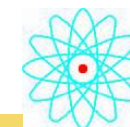
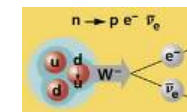
$$I_i = L + I_f$$

بزرگترین مقدار ممکن  $L$

$$I_i + I_f$$

کوچکترین مقدار ممکن  $L$

$$|I_i - I_f|$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



بنا بر قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته به صورت زیر است

$$|I_i - I_f| \leq L \leq I_i + I_f$$

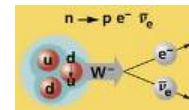
بدون  $L=0$

$$\Delta \pi$$

مغناطیسی فرد ، الکتریکی زوج : نه =

$$\Delta \pi$$

مغناطیسی زوج ، الکتریکی فرد : آری =







ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

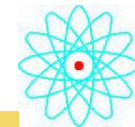
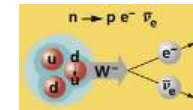
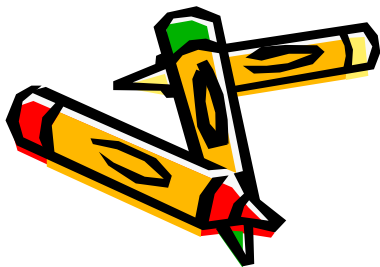


محاسبه نسبت احتمال ها برای هسته  $A=125$  با  $E=1 \text{ MeV}$

$$\lambda(M1) : \lambda(E2) : \lambda(M3) : \lambda(E4) = 1 : 1.4 \times 10^{-3} : 2.1 \times 10^{-10} : 1.3 \times 10^{-13}$$

اگر "آری" = "نتیجه می شود"

$$\lambda(E1) : \lambda(M2) : \lambda(E3) : \lambda(M4) = 1 : 2.3 \times 10^{-7} : 2.1 \times 10^{-10} : 2.1 \times 10^{-17}$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته

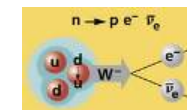
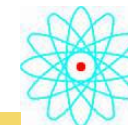
انتظارات بر مبنای برآورد های تک ذره ای:

۱. پایینترین چند قطبی مجاز معمولاً غالب است.
۲. برای هسته های متوسط و سنگین ، گسیل چند قطبی الکتریکی با ضریب ۱۰۰ محتملتر از گسیل چند قطبی مغناطیسی از همان مرتبه است.

۳. احتمال گسیل چند قطبی  $L+1$  با ضریبی از مرتبه

$$10^{-5}$$

کمتر از چند قطبی  $L$  است.





دانشگاه پیام نور

## ادامه قواعد گزینش تکانه زاویه ای و پاریته



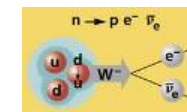
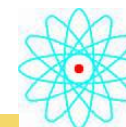
ادامه انتظارات بر مبنای برآورد های تک ذره ای:

۴. از ترکیب ۲ و ۳ داریم

$$\frac{\lambda(EL')}{\lambda(ML)} = \frac{\lambda(EL')}{\lambda(EL)} \cdot \frac{\lambda(EL)}{\lambda(ML)} \approx 10^{-5} \times 10^2 \approx 10^{-3}$$

$$\frac{\lambda(ML')}{\lambda(EL)} = \frac{\lambda(ML')}{\lambda(ML)} \cdot \frac{\lambda(mL)}{\lambda(EL)} \approx 10^{-5} \times 10^{-2} \approx 10^{-7}$$

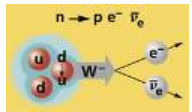
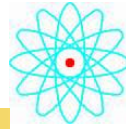
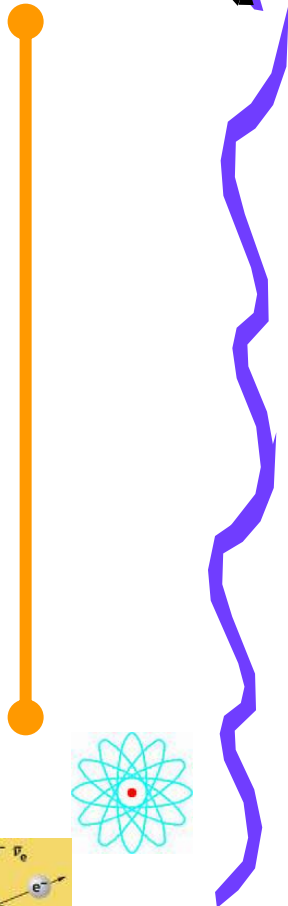
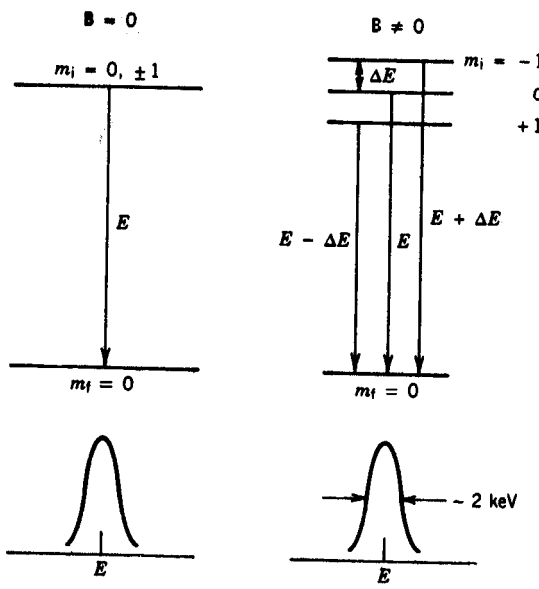
به اختلاف بین دو نتیجه توجه شود.



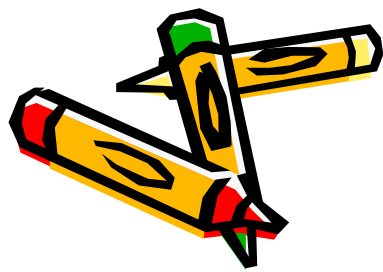


دانشگاه پیام نور

# ۱-۵ اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی



شکل ۴۰۱۰ اثر هسته‌ای زیرمان. در میدان مغناطیسی  $B$ ، تعداد  $2I_f + 1$  زیرتر از حالت  $I_f$  به حالات با فواصل مساوی و اختلاف انرژی  $\Delta E = \mu B / I_f$  شکافته می‌شوند، برای مورد نشان داده شده داریم  $I_f = 1$ ،  $2I_f + 1 = 3$  و  $I_f = 0$ ،  $\Delta E = \mu B$  این سه گذار در قواعد گزینش  $\Delta m = 0, \pm 1$  صدق می‌کنند. خطوط گامای مشاهده شده در زیر هر نمودار نشان داده شده است، به علت بزرگتر بودن تفکیک انرژی از شکستگی  $\Delta E$ ، نمی‌توانیم مؤلفه‌های مختلف را تفکیک کنیم.





دانشگاه پیام نور

# ادامه اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی

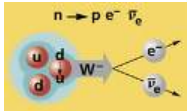
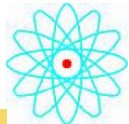


توزیع زاویه ای مشاهده شده تابش ها

$$w(\theta) = \sum_{mi} p(m_i) w_{mi} \rightarrow_{mf}(\theta)$$

باتوجه به برابری تراکم ها در شرایط عادی داریم

$$w(\theta) \propto \frac{1}{3} \left[ \frac{1}{2} (1 + \cos^2 \theta) \right] + \frac{1}{3} (\sin^2 \theta) + \frac{1}{3} \left[ \frac{1}{2} (1 + \cos^2 \theta) \right] = const.$$





دانشگاه پیام نور

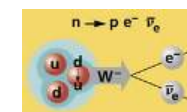
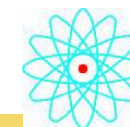
## ادامه اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی



روشهای ایجاد تراکم نابرابر در مورد گذارها:

۱. سرد کردن هسته ها تا دمای حدود  $0.01 \text{ K}$  ضمن اینکه در میدان قوی قرار دارد.

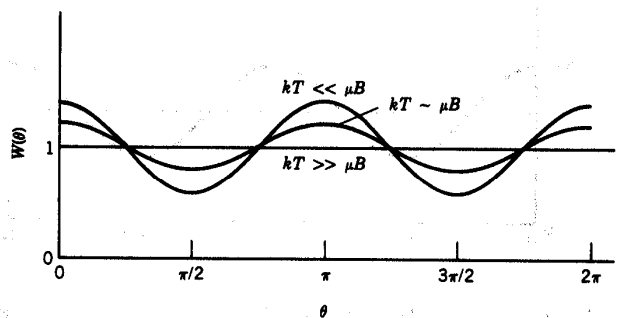
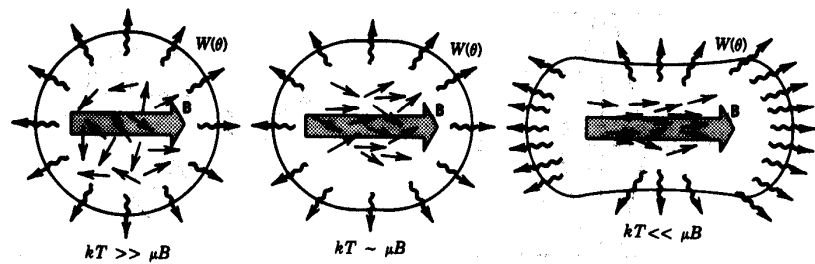
۲. ایجاد مخلوط نامساوی از تراکم ها



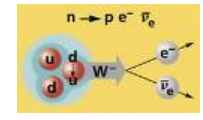
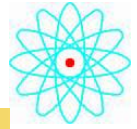


دانشگاه پیام نور

# ادامه اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی



شکل ۳۰۱۵ توزیعیهای زاویه ای هسته ها با اسپینهای سمت گیری شده در دماهای کم. در تصویر بالایی سمت چپ، توزیع انتظاری تابش در دمای بالا داده شده است؛ میدان مغناطیسی به علت حرکت گرمایی تأثیری درسمتگیری اسپینهای هسته ای ندارد. در دماهای متوسط (تصویرمیانی در بالا)، اسپینها شروع به هم خط شدن با میدان می کنند. و توزیع تابش غیر یکنواخت می شود. در دمای بسیار پایین، اسپینها به طور کامل با میدان هم خط می شوند. اندازه گیری توزیع زاویه ای تابش دوقطبی، نتایجی به صورت شکل پایین به دست می دهد.





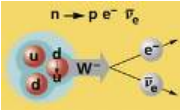
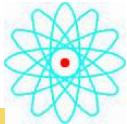
دانشگاه پیام نور

۱-۵ اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی



توزیع زاویه ای نسبت به  $\gamma_2$

$$w(\theta) \propto \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} (1 + \cos^2 \theta) \right] + 0(\sin^2 \theta) + \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} (1 + \cos^2 \theta) \right] \propto 1 + \cos^2 \theta$$





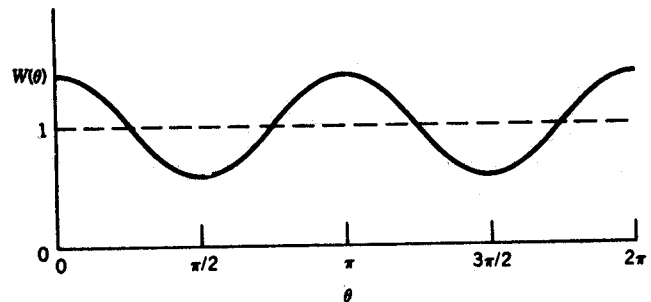
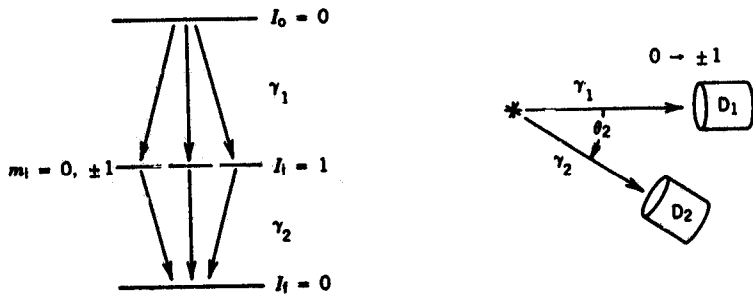


دانشگاه پیام نور

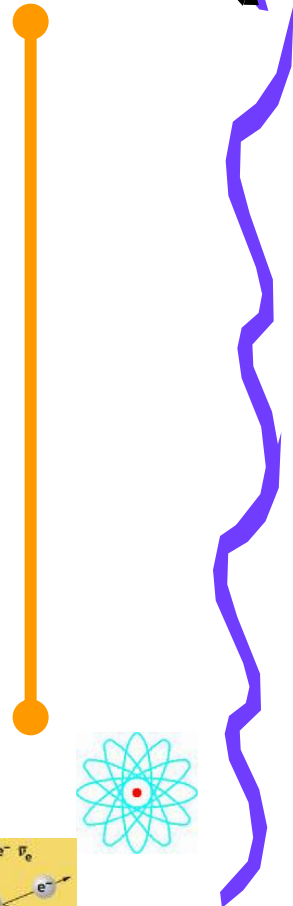
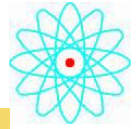
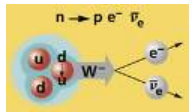
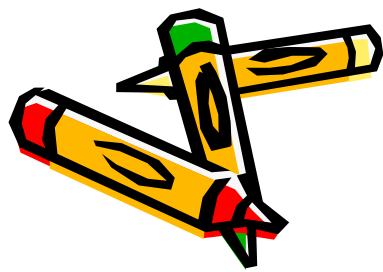
# ادامه اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی



## آزمایش همبستگی زاویه ای



شکل ۴۰۹۰ اندازه گیری همبستگی زاویه ای. در يك تساوی دو تپاشی که در اینجا به صورت  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$  فرض می شود، توزیع زاویه ای  $\gamma_2$  نسبت به جهت  $\gamma_1$  اندازه گیری می شود. يك نتیجه کلی حاصل از دو گذار دو قطبی در شکل پایین نشان داده شده است.



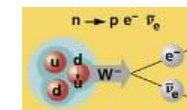
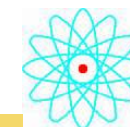


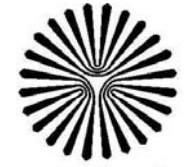
دانشگاه پیام نور

## ادامه اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی

توزیع زاویه ای در حالت کلی به صورت چند جمله ای توانهای زوج  $\cos\theta$  است.

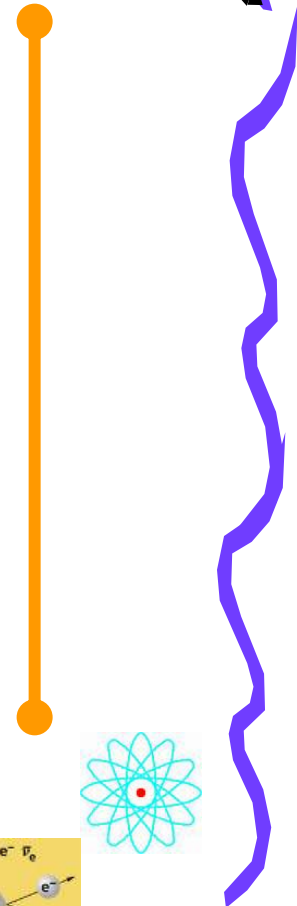
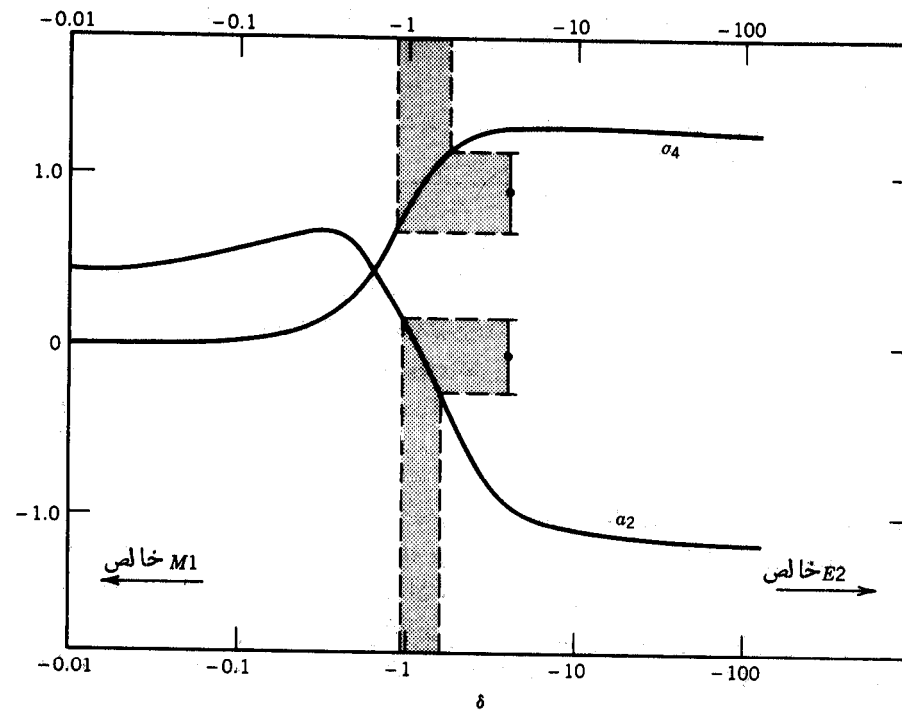
$$w(\theta) = 1 + \sum_{k=1}^L a_{2k} \cos^{2k} \theta$$



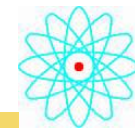
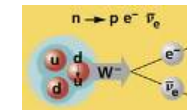


دانشگاه پیام نور

# ادامه اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی



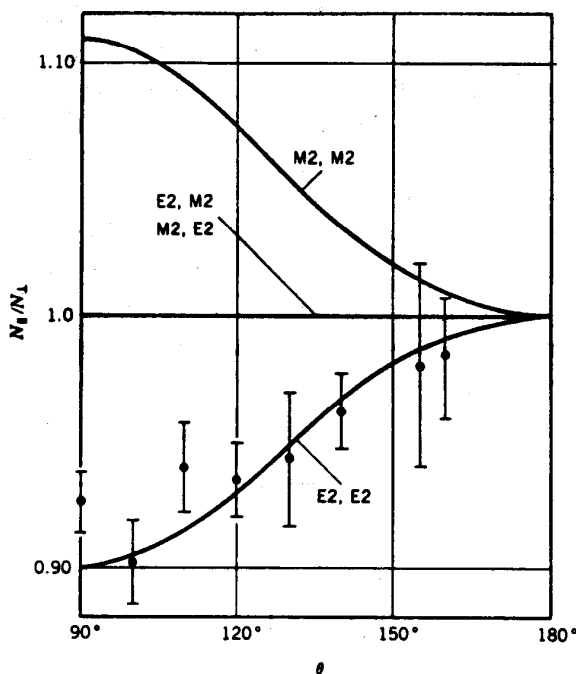
شکل ۵۰۱۰ تحلیل اطلاعات همبستگی زاویه ای برای نسبت جزء ماتریسهای  $E2$  به  $M1$  در پیک گذار. پاره خطهای عمودی خطا گستره های تمییز تجربی  $a_4$  و  $a_2$  را نشان می دهند، و هر یک از آنها مقدار  $\delta$  خاص خود را دارد. منحنیهای  $a_4$  و  $a_2$  با استفاده از نظریه و برای توالی  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 0$  در  $^{110}\text{Cd}$  به دست آمده اند.



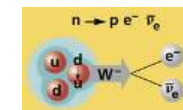
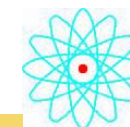


دانشگاه پیام نور

## ادامه اندازه گیری توزیع زاویه ای و قطبیدگی



شکل ۶۰۱۰ تعیین همبستگی زاویه ای که در آن قطبش خطی تابش، اندازه گیری می شود. زاویه  $\theta$  مانند شکل های ۴۰۱۰ و ۴۳۰۷، زاویه بین دو تابش است. اطلاعات نشان داده شده به دو گذار در واپاشی  $^{46}\text{Sc}$  مربوط می شوند. منحنیهای نظری برای ترکیبهای مختلف تابشهای  $E2$  و  $M2$  رسم شده اند. نتایج نشان می دهند که هر دو گذار باید از نوع  $E2$  باشند که با نمودار تراز اخیراً شناخته شده  $4^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$  سازگار هستند.





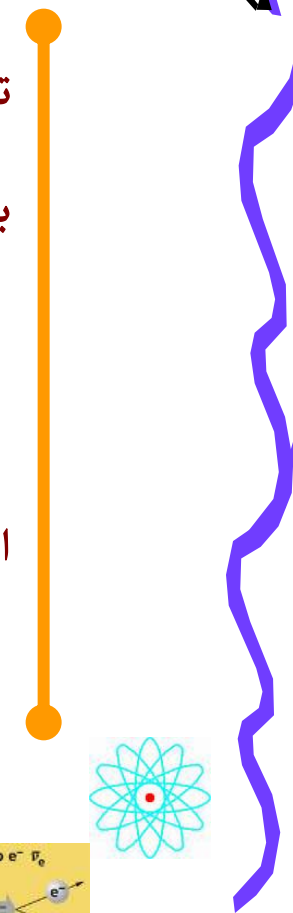
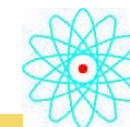
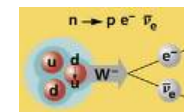
دانشگاه پیام نور

## ۱۰-۶ تبدیل داخلی

تبدیل داخلی فرایندی الکترومغناطیسی است که با گسیل گاما رقابت می کند.  
برهم کنش میدانها با الکترونهای اتمی باعث گسیل یکی از الکترونهای اتمی می شود.

$$T_e = \Delta E - B$$

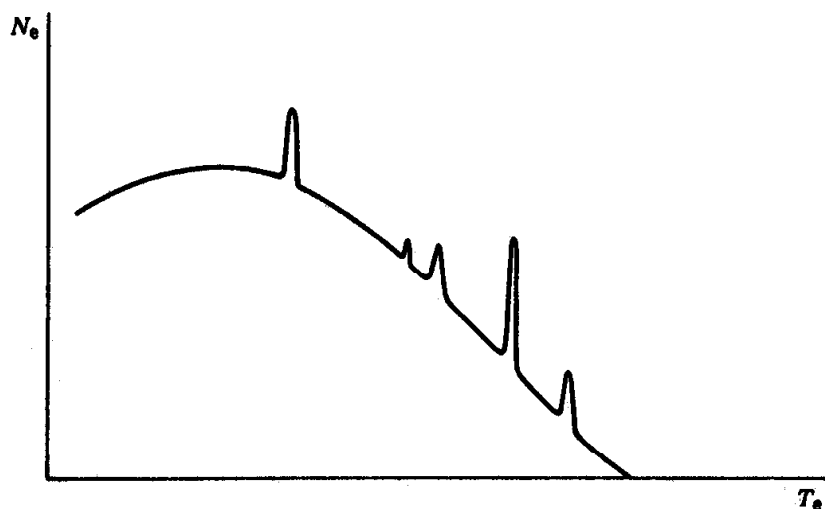
انرژی جنبشی الکترون گسیل شده



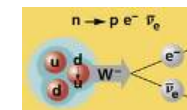
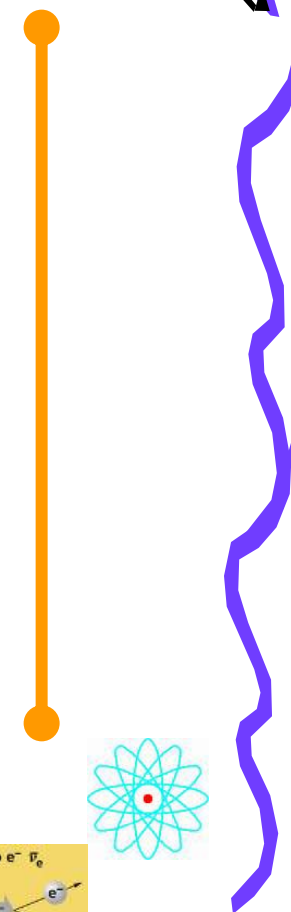


دانشگاه پیام نور

## ادامه تبدیل داخلی



شکل ۷.۱۵ نمونه‌ای از طیف الکترون که ممکن است از یک چشمه رادیواکتیو گسیل شود. چند قله ناپیوسته تبدیل داخلی روی زمینه پیوسته واپاشی بتا قرار دارند.





دانشگاه پیام نور

## ۱۰-۶ تبدیل داخلی

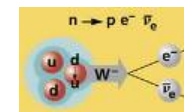
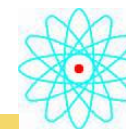


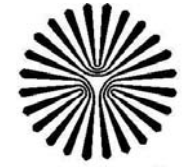
احتمال واپاشی کل

$$\lambda_t = \lambda_\gamma + \lambda_e$$

$$\alpha = \frac{\lambda_e}{\lambda_\gamma}$$

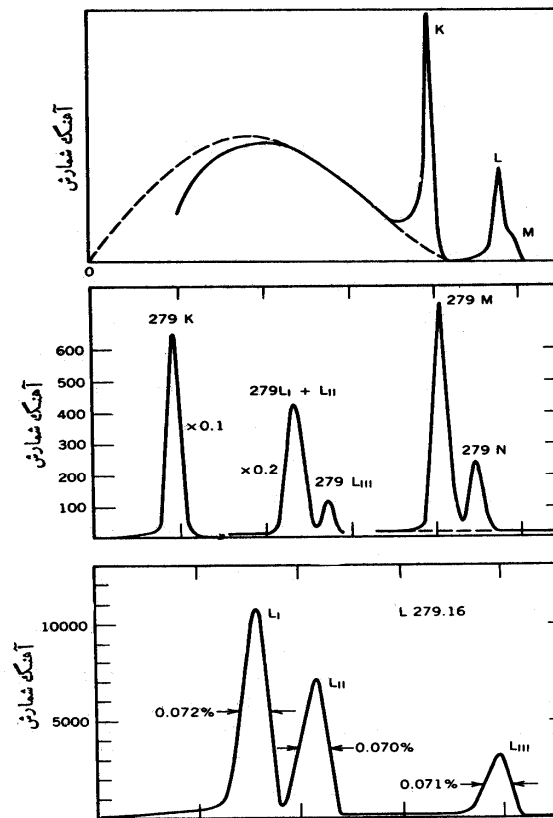
تعریف ضریب تبدیل داخلی



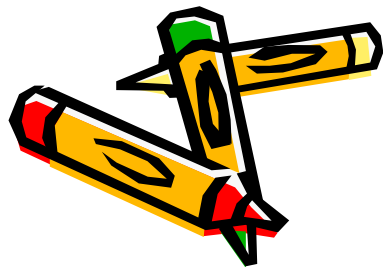
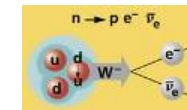
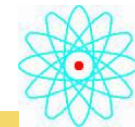


دانشگاه پیام نور

## ادامه تبدیل داخلی



شکل ۸-۱۰ طیف الکترون حاصل از واپاشی  $^{279}\text{Hg}$  در تصویر بالا، طیف پیوسته  $\beta$  همراه با خطوط تبدیل K، L و M تفکیک نشده قابل مشاهده است. در تصویر میانی، طیف تبدیل با تفکیک بیشتر نشان داده شده است؛ خطوط L و M به خوبی جدا شده اند و حتی  $L_{III}$  نیز تفکیک شده است. در تفکیک خیلی بهتر شکل پایینی، خطوط  $L_I$  و  $L_{II}$  به روشنی از هم جدا شده اند.







دانشگاه پیام نور

## ادامه تبدیل داخلی

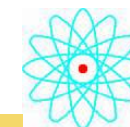
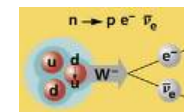


احتمال کل واپاشی

$$\lambda_t = \lambda_\gamma (1 + \alpha)$$

ضریب های جزئی مربوط به پوسته های اتمی مختلف

$$\begin{aligned} \lambda_t &= \lambda_\gamma + \lambda_{e,k} + \lambda_{e,L} + \lambda_{e,m} + \dots \\ &= \lambda_\gamma (1 + \alpha_k + \alpha_L + \alpha_M + \dots) \end{aligned}$$





دانشگاه پیام نور

# ادامه تبدیل داخلی



$$\alpha = \alpha_k + \alpha_L + \alpha_M + \dots$$

$$\alpha_L = \alpha_{L_I} + \alpha_{L_{II}} + \alpha_{L_{III}}$$

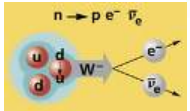
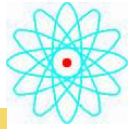
$$\lambda_\gamma(\sigma L) \propto |m_{fi}(\sigma L)|^2$$

$$\lambda_e(\sigma L) \propto |m_{fi}(\sigma L)|^2$$

نتیجه روابط قبل

با در نظر گرفتن زیر پوسته ها

بخش هسته ای جزء ماتریس





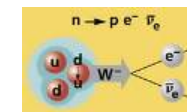
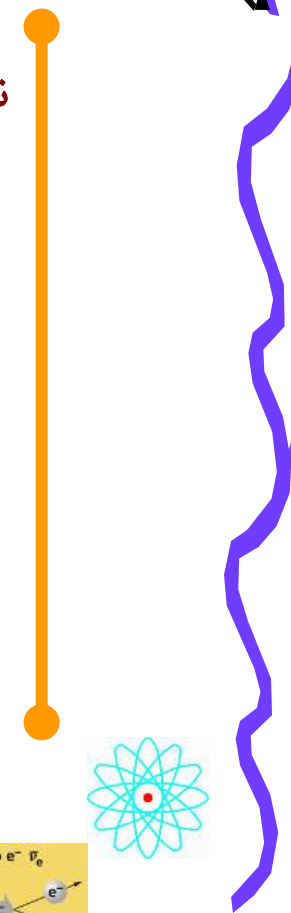
دانشگاه پیام نور

## ادامه تبدیل داخلی

نتایج محاسبه نانسبیتی برای چندقطبیهای الکتریکی  $E$  و مغناطیسی  $M$

$$\alpha(EL) \cong \frac{z^3}{n^3} \left( \frac{L}{L+1} \right) \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 hc} \right)^4 \left( \frac{2m_e c^2}{E} \right)^{L+5/2}$$

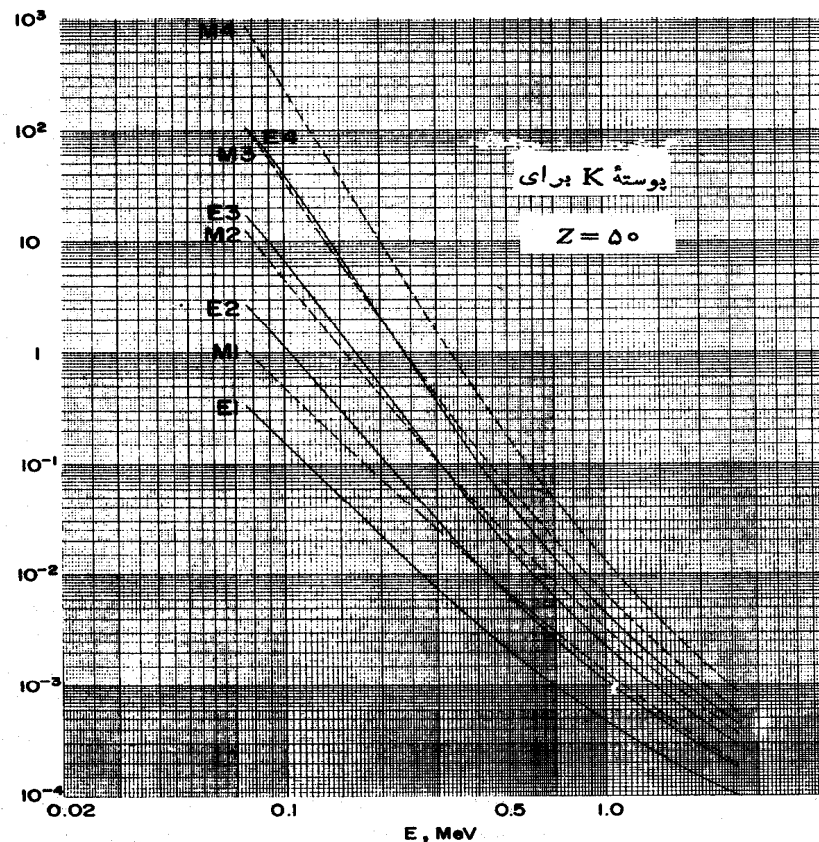
$$\alpha(ML) \cong \frac{z^3}{n^3} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 hc} \right) \left( \frac{2m_e c^2}{E} \right)^{L+5/2}$$



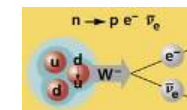
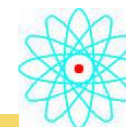


دانشگاه پیام نور

# ادامه تبدیل داخلی



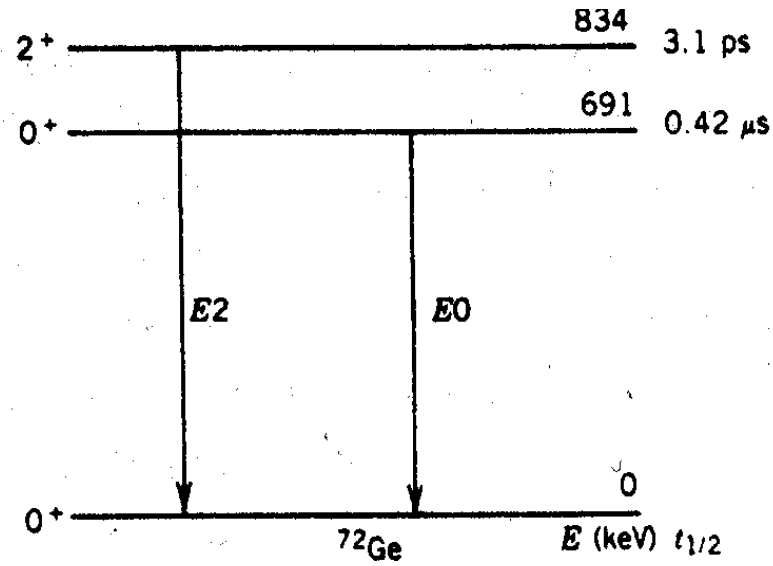
شکل ۹-۱۰ ضرایب تبدیل داخلی پوسته K برای  $Z=50$ .



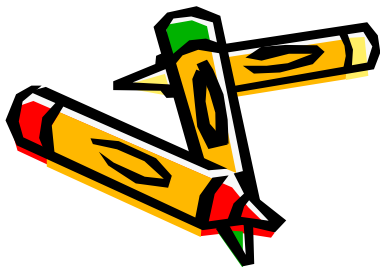
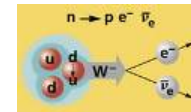
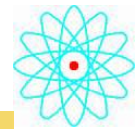
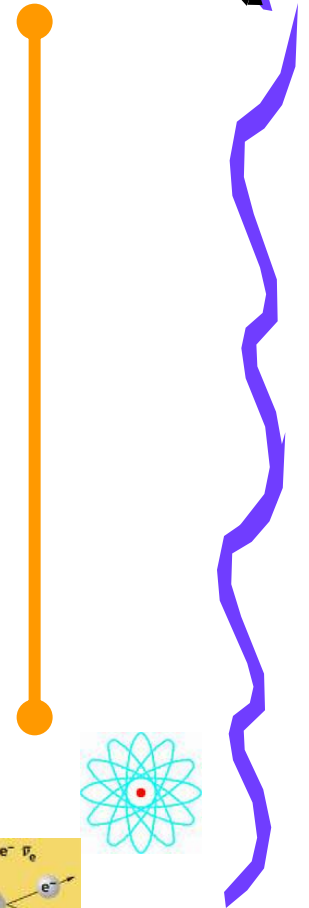


دانشگاه پیام نور

# ادامه تبدیل داخلی



شکل ۱۰.۱۰ ترازهای انرژی در  $^{72}\text{Ge}$ .





# ۱-۷ طول عمرهای گسیل گاما



برآورد آهنگ واپاشی جزئی گاما

نیمه عمر تراز **1317 keV** برابر **8.7 ps** اندازه گیری شده است

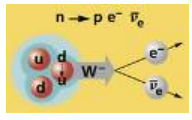
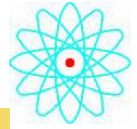
$$\lambda_t = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.63}{8.7 \times 10^{-12} s} = 8.0 \times 10^{10} s^{-1}$$

مرحله اول محاسبه

$$\lambda_t = \lambda_{t,1317} + \lambda_{t,380}$$

مرحله دوم محاسبه

$$= \lambda_{t,1317} (1 + \alpha_{1317}) + \lambda_{\gamma,455} (1 + \alpha_{455}) + \lambda_{\gamma,380} (1 + \alpha_{380})$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه طول عمرهای گسیل گاما

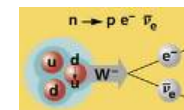
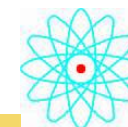
با صرف نظر از ضرایب کوچک نتیجه می شود

$$\lambda_t = \lambda_{t,1317} + \lambda_{\gamma,455} + \lambda_{\gamma,380}$$

مرحله سوم

با استفاده از اندازه گیری شدتهای نسبی این سه پرتو گاما نتیجه می شود

$$\lambda_{\gamma,1317} : \lambda_{\gamma,455} : \lambda_{\gamma,380} = 51 : 39 : 10$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه طول عمرهای گسیل گاما

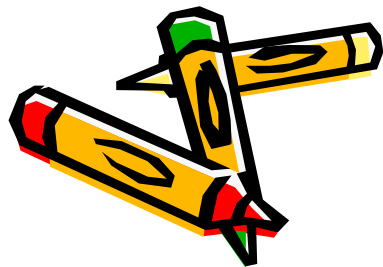
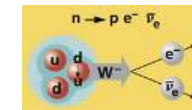
مرحله چهارم

آهن‌گهای واپاشی جزئی سه پرتو گاما

$$\lambda_{\gamma,1317} : 0.51(8.0 \times 10^{10} s^{-1}) = 4.1 \times 10^{10} s^{-1}$$

$$\lambda_{\gamma,455} : 0.39(8.0 \times 10^{10} s^{-1}) = 3.1 \times 10^{10} s^{-1}$$

$$\lambda_{\gamma,380} : 0.10(8.0 \times 10^{10} s^{-1}) = 0.80 \times 10^{10} s^{-1}$$







دانشگاه پیام نور

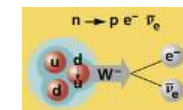
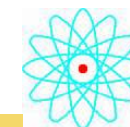
## ادامه طول عمرهای گسیل گاما

مقایسه نتایج با برآورد های وایسکوف

$$\lambda_{E2,1317} = 8.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda_{E2,455} = 4.3 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda_{E2,380} = 1.7 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$$





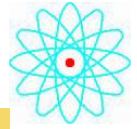
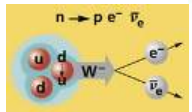
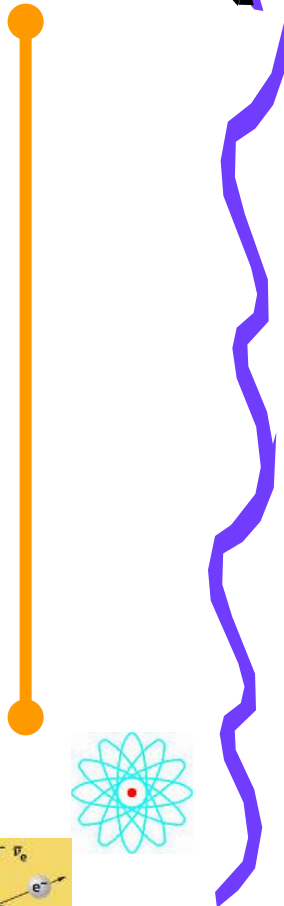
# ادامه طول عمرهای گسیل گاما



محاسبه مشابه با تراز  $(t_{1/2} = 15.8 \text{ ns}) 937 \text{ keV}$

$$\lambda_t = \frac{0.693}{15.8 \text{ ns}} = 4.39 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda_t = \lambda_{\gamma,937} + \lambda_{t,75} = \lambda_{e,937} + \lambda_{\gamma,75} (1 + \alpha_{75})$$





دانشگاه پیام نور

## ادامه طول عمرهای گسیل گاما

$$\lambda_{e,937} = 4.3 \times 10^6 s^{-1}$$

$$\lambda_{\gamma,75} = 1.16 \times 10^7 s^{-1}$$

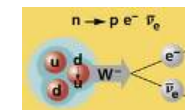
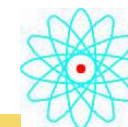
$$\lambda_{\gamma,862} = 2.0 \times 10^{11} s^{-1}$$

$$\lambda_{E 2.75} = 5.2 \times 10^4 s^{-1}$$

$$\lambda_{E 2.862} = 5.2 \times 10^{10} s^{-1}$$

ادامه محاسبات

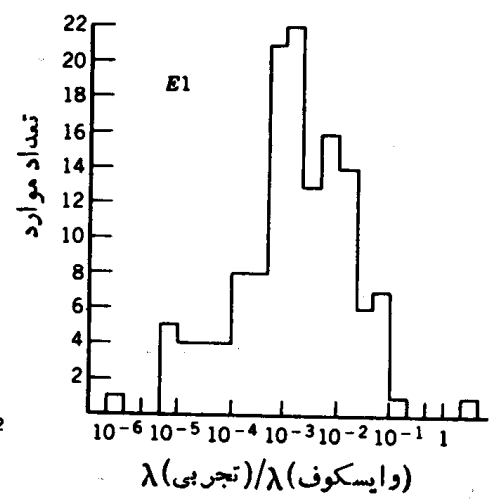
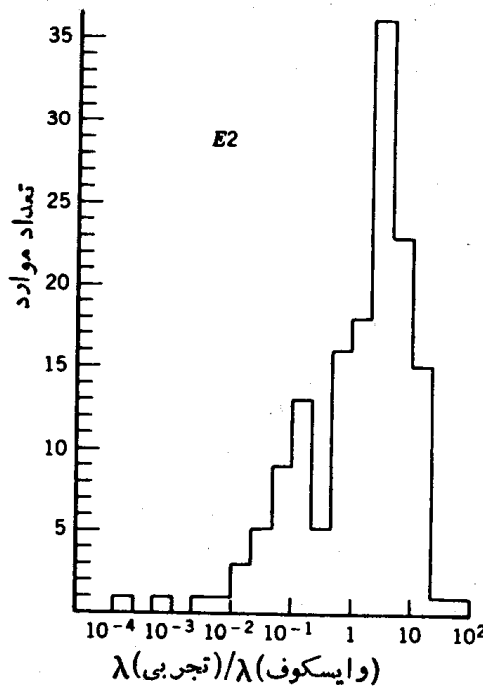
مقایسه با نتایج وایسکوف



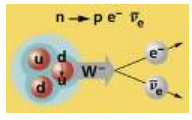
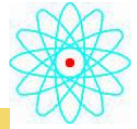


دانشگاه پیام نور

# ادامه طول عمرهای گسیل گاما



شکل ۱۴.۱۰ نمایش گذارهای E1 و E2. این شکلها نمایش تغییرات تعداد موارد را بر حسب نسبت آهنگک واپاشی مشاهده شده به مقدار محاسبه شده مبتنی بر فرمول وایسکوف نشان می دهند.



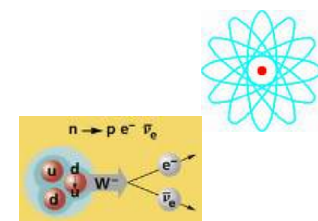


دانشگاه پیام نور

فیزیک هسته ای ۱



# پایان



[www.salampnu.com](http://www.salampnu.com)

## سایت مرجع دانشجوی پیام نور

- ✓ نمونه سوالات پیام نور : بیش از ۱۱۰ هزار نمونه سوال همراه با پاسخنامه
- تستی و تشریحی
- ✓ کتاب ، جزوه و خلاصه دروس
- ✓ برنامه امتحانات
- ✓ منابع و لیست دروس هر ترم
- ✓ دانلود کاملاً رایگان بیش از ۱۴۰ هزار فایل مختص دانشجویان پیام نور

[www.salampnu.com](http://www.salampnu.com)