





# آشکار سازی پرتوها

## کارشناسان پرتوی

منابع :

۱- آشنایی با فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی

۲- مبانی فیزیک پرتوها

۳- مقدمه ای بر فیزیک بهداشت سمبر

دکتر علی اصغر پورچ

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد

Life is like riding a bicycle,  
to keep your balance, you  
must keep moving!

زندگی مثل دوچرخه سواری است،  
اگر حرکت نکنی، تعادلت را از دست  
می دهی!

3

## برهمکنش

# ذرات پرانرژی با ماده

علی اصغر پورچ

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد

4

## برهم کنش ذرات باردار با ماده

### ◀ سازوکار اصلی برهمکنش

□ ▶ ذره باردار هنگام عبور از میان ماده (هدف)، با الکترونهاي منفی و هسته‌های مثبت اتم یا مولکولهای هدف برهمکنش می‌کند.

□ ▶ پرتو با نیروی کولمب، سعی در جذب یا دفع الکترون یا هسته‌های نزدیک مسیر عبور می‌کند و در اثر این کشیدن یا پس‌زدن قدری از انرژی خود را از دست می‌دهد. این انرژی توسط الکترون اتمهای نزدیک مسیر جذب و به برانگیختگی یا یونیزاسیون اتمها می‌انجامد.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

6

در این جا، پرتو به معنی پرتوی ذره‌ای (ذرات باردار و نوترون) مورد نظر است.

• برهمکنش ذرات باردار نظیر  $\alpha$ ,  $p$ ,  $e^+$ ,  $e^-$  (با انرژی  $10 \text{ keV}$  تا  $10 \text{ MeV}$ )

• برهمکنش نوترون

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

5

## تفاوت بین ذرات باردار سبک و سنگین

### ◀ آیا برهمکنش تمام ذرات باردار مشابه است؟

□ ▶ بله، زیرا طبیعت برخورد تمام ذرات باردار در این محدوده انرژی ذاتاً مشابه است (برخورد غیرالاستیک)

□ ▶ خیر، زیرا ظاهر برهمکنشها در ذرات سبکتر (جرم در حد یک الکترون، مثل  $e^-$  و  $e^+$ ) و ذرات سنگین‌تر (جرم مساوی یا بیشتر از یک پروتون، مثل  $p$  و  $\alpha$ ) کاملاً متفاوت است.

ذرات سبک در برخورد غیرالاستیک با الکترونهاي اتم هدف، علاوه بر از دست دادن انرژی با زاویه بزرگتری نسبت به ذرات سنگین، منحرف می‌شوند؛ که سبب اختلاف در برد دو ذره می‌شود.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

7

◀ مسیر ذرات سنگین تقریباً خط مستقیم ولی ذرات سبک خطوط شکسته (زیگزاگ) است.

هرگاه یک ذره سبک با زاویه بزرگ منحرف شود انرژی انتقالی به الکترون اتم هدف نیز کاملاً بزرگ است. در نتیجه، الکترون هدف با جذب این انرژی، مشابه ذره باردار پرا انرژی رفتار می‌کند، یعنی خودش در ماده هدف، مسیری را طی می‌کند.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

8

## بر خورد پرتو آلفا با ماده

- ذره های آلفا هسته های اتمهای هلیومی هستند که الکترون ندارند. این ذره دارای دو پروتون و دو نوترون می باشد.
- به علت بار الکتریکی نسبتاً زیاد، احتمال برخورد آن هنگام نفوذ به داخل ماده با الکترون های ماده زیاد می باشد و چون جرم زیادی دارند دارای سرعت نسبتاً کمی می باشند و در نتیجه مدت زمان برخورد ذره آلفا با الکترونها زیاد است.
- ذره آلفا انرژی خود را با یونش و برانگیخته کردن اتمهایی که در مسیرش با آنها برخورد می نماید، از دست می دهد.

علی اصغر پور  
عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد

9

## واکنش پرتو آلفا با ماده

- ذره آلفا از دو طریق زیر با ماده برخورد میکند :
- عمدتاً با الکترونها مداری، ایجاد یونیزاسیون و یا تهییج میکند .
- بعضی مواقع در انرژیهای بالا با هسته اتم برخورد انجام میدهد .
- مسیر حرکت آلفا مستقیم است، زیرا جرم آن در مقایسه با الکترونها مداری بسیار بالاست و در نتیجه منحرف نمیشود و فقط در انتهای مسیرش تفرق پیش می آید .

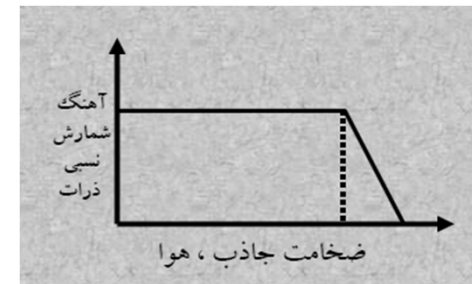
10

## واکنش پرتو آلفا با ماده

- جذب ذرات آلفا بر خلاف ذرات بتا به صورت طیف نیست بلکه تابش آلفا اساساً تک انرژی است به طوری که:

هر چه ضخامت ماده جاذب بیشتر باشد، صرفاً انرژی ذراتی که از آن عبور می کنند کاهش می یابد و تا زمانی که ضخامت به برد تقریبی نرسد تعداد ذرات کاهش نمی یابد که در این نقطه تعداد ذرات عبور کرده از ماده جاذب شدیداً کاهش می یابد .

11

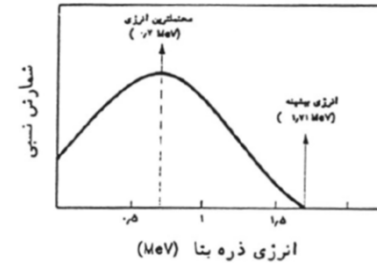


12

## بر خورد پرتو بتا (الکترون) با ماده

□ ذرات بتا تک انرژی نبوده بلکه دارای طیف انرژی پیوسته هستند .

□ بعنوان مثال طیف انرژی ذرات بتا ناشی از فسفر ۳۲ در شکل زیر دیده می شود.



14

## بر خورد پرتو بتا (الکترون) با ماده

□ به علت جرم کوچک و بار منفی ذره های بتا این ذرات به آسانی بوسیله نیروی کششی قوی هسته ای تحت تاثیر قرار می گیرند.

□ اندازه از دست دادن انرژی در این بر خورد می تواند از صفر تا همه انرژی ذره باشد

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

15

▶ هر گاه ذره بتا به میدان الکتریکی هسته نزدیک شود سرعتش کم شده و انرژی آن کاسته می شود این کاهش انرژی به صورت فوتون نمایان می شود. به فوتون ایجاد شده در این پدیده پرتو ترمزی می گویند.

▶ ذره های بتا می توانند با الکترونهاى مدارى برخورد نمایند و باعث شوند که الکترون مدارى اتم را ترک کرده و جفت یون تولید شود (فوتونهاى X ویژه).

▶ فوتونهاى رونتگن ویژه هنگام بیرون رفتن از اتم ممکن است با الکترونهاى مدارى برخورد کرده و آنها را به بیرون پرتاب نمایند اینگونه الکترونها را الکترون سرگردان یا الکترون اوژه می نامند.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

16

▶ مسیر پیچ در پیچ ذره بتا باعث می شود که برد میانگین آن بسیار

کوچکتر از برد حقیقی باشد.

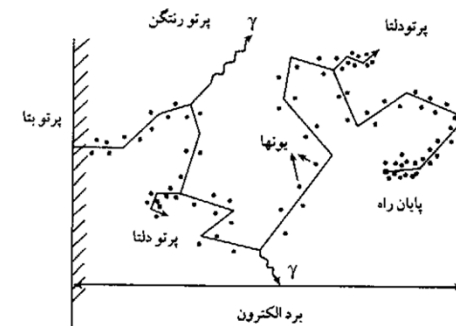
▶ بیشتر مواد رادیواکتیوی که در پزشکی به کار می روند، تابش

کننده های بتا می باشند.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یوزج

17

## مسیر و برد الکترون



عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یوزج

18

## برخورد پوزیترون با ماده

□ با همان روشی که الکترون با ماده برخورد می کند پوزیترون با ماده برخورد

نموده و انرژی را از راه یونش و یا برانگیزش از دست می دهد

□ این کار در مسیری نزدیک به چند میلیمتر انجام می گیرد.

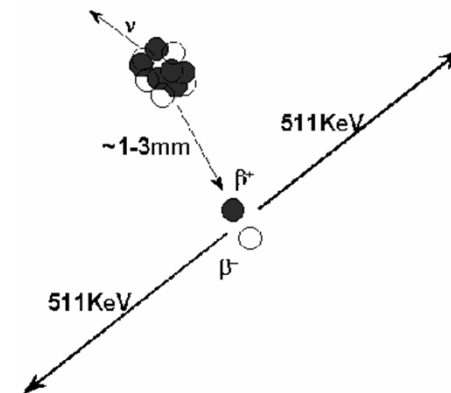
□ پس از آن پوزیترون با پاد ذره اش الکترون ترکیب شده و راه ناپودی را می پیماید.

□ انرژی الکترو مغناطیسی به گونه زیر تابش می شود:

$$\Delta E = 2m_0c^2 = 1.022MeV$$

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یوزج

19



عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یوزج

20

## برد ذرات باردار

- یک ذره باردار هر قدر در یک ماده بیشتر حرکت کند، انرژی بیشتری از دست داده و اتمهای نزدیک به مسیر حرکت، بیشتر یونیزه و برانگیخته می‌شوند و در نهایت، ذره باردار تمام انرژی جنبشی خود را از دست داده و تقریباً می‌ایستد.
- در امور حفاظت در برابر پرتو، برای طراحی آشکارسازها و دوزیمتری، مفهوم برد یک ذره باردار بسیار مفید است

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج

21

## برد ذرات باردار سنگین:

متوسط طولی که یک ذره باردار در جهت ورودی طی کند، برد،  $R$ ، نامیده می‌شود. این تعریف، فقط برای ذرات باردار سنگین نظیر ذره  $\alpha$  معتبر است.

## برد ذرات باردار سبک:

تعریف دقیق برد برای ذرات سبک مشکل است و فرض می‌شود برد ذرات سبک، نظیر الکترون و پوزیترون، کمترین ضخامت ماده‌ای است که قادر به نفوذ از آن نباشد.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج

22

## نکته مهم:

برد ذرات باردار سنگین که کم و بیش به خط مستقیم حرکت می‌کنند، تقریباً مساوی متوسط مسیر طی شده در ماده مفروض است؛  
در صورتی که برد ذرات سبکتر نظیر الکترون، که مسیر شکسته را طی می‌کنند، کوتاهتر از متوسط مسیر طی شده است

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج

23

## برد ذرات مختلف

(برد میانگین)						
پرتو	نشانه	بار الکتریکی	انرژی	هوا	آب	پوش نسبی ویژه
آلفا	$\alpha$	+2	3-9 Mev	3 - 9 cm	25 - 45 $\mu$ m	2500
بتا	$\beta^-$	-1	0-3 Mev	0 - 10 cm	5 - 1 mm	100
پوزیترون	$\beta^+$	+1	0-3Mev	0 - 10 cm	5 - 1 mm	100
نوترون	n	o	0-10 Mev	1 - 100 m	0 - 1 m	0.1
پروتون	x	o	10-200 Kev	cm - 20 m	mm - cm	1
پرتوگاما	$\gamma$	o	kev-10Mev	cm - 100 m	mm -10 cm	1

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج

24

## عوامل مؤثر در برد

✓ انرژی (E)

✓ جرم (M)

✓ بار (Q)

✓ چگالی محیط (D)

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

25

## انرژی (E)

برد یک ذره با افزایش انرژی اولیه، زیاد می شود.

برای مثال، بُرد الکترون با انرژی 5 MeV تقریباً 6 برابر برد الکترون 1 MeV است.

رابطه دقیق R و E مشکل است، ولی در محدوده انرژی مورد نظر ما، R با انرژی اولیه ذره باردار (E) رابطه خطی دارد

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

26

## جرم (M)

ذرات سبکتر نسبت به ذرات سنگین، با انرژی و بار مشابه، بُرد طولانی تری دارند.

بُرد پوزیترون 1 MeV طولانی تر از بُرد پروتون 1 MeV است (جرم p، دوهزار برابر جرم e است).

وابستگی بُرد به جرم گاهی اوقات به صورت وابستگی به سرعت بیان می شود.

پوزیترون 1 MeV با سرعت بیشتری نسبت به پروتون 1 MeV حرکت می کند. بُرد ذره باردار با افزایش سرعت افزایش می یابد.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

27

## بار (Q)

ذره با بار کمتر مسافت بیشتری نسبت به ذره با بار بیشتر طی می کند.

برای مثال،  ${}^3_1\text{H}$  (بار 1، جرم 3) بُرد بیشتری نسبت به  ${}^3_2\text{He}$  (بار 2، جرم 3) با انرژی مشابه دارند. رابطه دقیق آن  $R \propto \frac{1}{Q^2}$  است. بنابراین مسافت ذره  ${}^3_1\text{H}$  چهار برابر ذره  ${}^3_2\text{He}$  است. علامت بار (مثبت یا منفی) تأثیری در بُرد ندارد.

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

28

## تولید برمشترالانگ

ذرات باردار می‌توانند انرژی خود را از طریق فرآیند برمشترالانگ نیز از دست بدهند.

در این حالت، با قرار گرفتن ذره باردار در میدان الکتریکی هسته و افزایش یا کاهش ناگهانی شتاب، ممکن است فوتون‌های پراثرژی (پرتو X) تولید شود. احتمال این برهمکنش در انرژیهای پائین، بسیار کم است، مگر آن‌که الکترون یا پوزیترون با موادی با عدد اتمی بالا (مثلاً، سرب و استیل) برخورد نماید

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج

30

## چگالی محیط (D)

بُرد ذره باردار به میزان زیادی به چگالی محیط، وابسته است. چگالی زیاد، سبب کاهش بُرد ذره باردار می‌گردد، یعنی R با عکس چگالی محیط،  $\rho$ ، متناسب است.

به این دلیل بُرد ذرات باردار در گازها همواره بیشتر از مایعات و جامدات است

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج

29

□ در یک راکتور ۱۰ مگاواتی در هر ثانیه  $3 \times 10^{17}$  شکست

اتفاق می‌افتد. لذا میتوان حدس زد که در هر ثانیه

چند نوترون و چه میزان انرژی آزاد خواهد گردید.

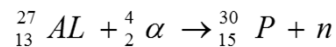
(در هر شکست چندین نوترون تولید می‌شود)

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج

## نوترون

□ یکی از اجزاء اتم است (در سال ۱۹۳۳ کشف شد) و هنگامی که عناصر سبکی همچون بریلیوم توسط پرتو آلفا بمباران شوند، پرتو نوترون تولید می‌شود که دارای قدرت نفوذ بالایی بوده و می‌تواند از صفحات سرب بضمخامت چند سانتی متر عبور کند.

□ فاقد بار الکتریکی بوده و می‌توان آنرا از بمباران آلومینیوم (یا سایر عناصر سبک) بدست آورد:



□ یکی از مهمترین منابع تولید آن، راکتورهای اتمی هستند

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر بروج



## بر خورد نوترون با ماده

- < الف- پراکندگی
- ۱- کشسان
  - ۲- غیرکشسان
- < ب- گیراندازی
- ۱- جذب و پرتوزا کردن
  - ۲- شکافت
  - ۳- درهم پاشی هسته

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

34

## خواص و انواع نوترون

- قابلیت یونسازی نوترون زیاد است ولی یونسازی آن مستقیم نمی باشد.
- یکی از روشهای غیر مستقیم یونسازی فروپاشی نوترون به پروتون و الکترون است که در واقع این دو ذره هستند که در محیط یونسازی می کنند.
- نوترون در محیط آزاد ناپایدار است ( نیمه عمر ۱۲ دقیقه)
- از نظر انرژی به سه دسته تقسیم می شود :
- ✓ نوترون حرارتی ( $E=0.025\text{eV}$ ) ----> سرعتشان در دمای ۲۰ درجه ۲۲۰۰ متر بر ثانیه
- ✓ نوترون متوسط (کند) ( $E=0.01\text{MeV}-0.1\text{ MeV}$ )
- ✓ نوترون سریع ( $E=0.1\text{MeV}-20\text{ MeV}$ )
- ✓ نوترون های نسبیتی

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

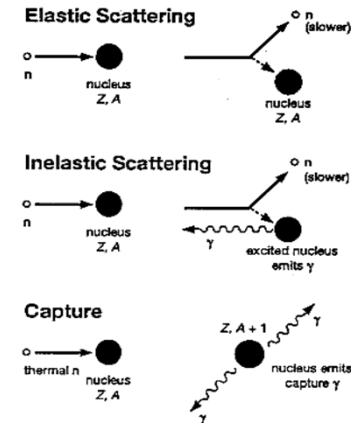
## بر خورد نوترون با ماده

- < ۱- کشسان:
- هنگامی که برخورد با هسته ای به اندازه خودش (آب یا پارافین) صورت می گیرد انرژی جنبشی آن به هسته منتقل می شود و هیچ انرژی تابش نمی شود. نوترون در این پدیده آهسته می شود (نوترون گرمایی).

- < ۲- نا کشسان:
- بخشی از انرژی نوترون در برخورد با هسته از دست می رود و بخشی بصورت فوتون تابش می شود (آهسته شدن نوترون به وسیله کربن).

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

35



عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد  
علی اصغر یزدی

36

## برخورد کشسان

• در این برخورد نوترونهای تند و خیلی تند بخشی از انرژی خود را به هسته اتم منتقل نموده و موجب پراکنده شدن آن میشوند .

▶ در این برخوردها کسری از انرژی که به محیط با جرم اتمی  $M$  منتقل میشود از رابطه زیر بدست می آید:

$$f = \frac{2M}{(M+1)^2}$$

▶ ملاحظه میشود هر قدر محیط سبکتر باشد انرژی بیشتری از نوترون به آن منتقل می شود  
▶ در برخورد نوترون های سریع با بافت (Z کمتر) بسیار مهم است

37

## نوترون و هسته هیدروژن

■ در بافتهای نرم، برخورد بین نوترونهای اولیه و هسته هیدروژن (که پروتونهای منفرد می باشند) پدیده ای غالب برای انتقال انرژی است. دلایل متعددی برای این امر وجود دارد:

1. اگر یک نوترون با یک پروتون برخورد کند، به علت مشابهت جرمی هر دو ذره، انرژی نسبتاً زیادی منتقل می شود.
  2. هیدروژن فراوانترین اتم در بافت است.
  3. سطح مقطع برخورد هیدروژن بزرگ است.
- پروتونهای برگشتی متحرک حین گذر از مواد بیولوژیکی با ایجاد برانگیختگی و یونیزاسیون انرژی از دست می دهند.

38

## برخورد غیر کشسان

▶ در این برخورد نوترونهای تند و خیلی تند بخشی از انرژی خود را به هدف (معمولاً با عدد اتمی بالا) منتقل می کنند و خود با انرژی کمتری پراکنده میشوند بدون آنکه هسته اتم از جای خود حرکت کند و فقط برانگیخته میشود که حاصل یک پرتو گاما یا پروتون یا آلفا خواهد بود .

▶ این برخورد بیشتر با اتمهای سنگین اهمیت دارد بنابراین از نظر بافت اهمیت چندانی ندارد .

39

## گیراندازی نوترون

### ۱- رابایش نوترون:

همه انرژی نوترون در برخورد با هسته به آن منتقل می شود و دگرگونی هسته با تابش فوتون یا پرتاب یک یا چند ذره (پروتون یا آلفا) صورت می گیرد

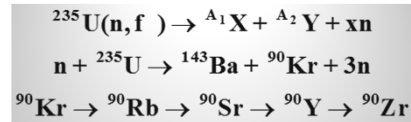
هسته حاصل رادیواکتیو باشد ---> برخورد جذب و پرتوزا کردن

40

## گیراندازی نوترون

### ۲- برخورد شکافت

- در این برخورد، یک نوترون حرارتی و یا تند جذب یک اتم سنگین نظیر اورانیوم ۲۳۸ و پلوتونیوم ۲۳۹ شده و آنرا به دو پاره سبکتر و تعدادی نوترون و ذرات باردار تقسیم می کنند.



آزادسازی حدود **200MeV** انرژی

41

## گیراندازی نوترون

### ۳- درهم پاشی هسته

- در این برخورد، یک نوترون خیلی تند (چند ده MeV) جذب هسته هدف شده و هسته مرکب تشکیل می شود. سپس این هسته تکه تکه شده و چندین ذره و پاره های هسته ای و نوترون و فوتون تولید می شود

## فعالسازی نوترونی

- فعالسازی نوترونی عبارتست از تولید یک نوع ایزوتوپ پرتوزا از طریق جذب نوترون .
- فعالسازی بدین معنی است که هر ماده ای که تحت تابش نوترون قرار می گیرد ممکن است به ماده ای پرتوزا تبدیل شود یعنی پس از خاتمه ی تابش نوترون هم ممکن است خطر تابش همچنان باقی بماند . همچنین با استفاده از فعالسازی میتوان به روش ساده ای شار نوترون ها را اندازه گیری کرد .
- آهنگ واپاشی - آهنگ تولید = آهنگ افزایش اتم های پرتوزا

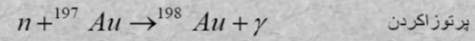
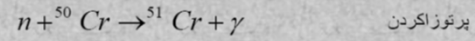
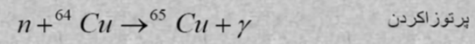
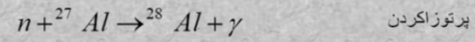
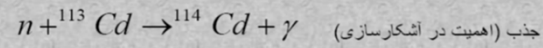
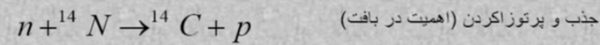
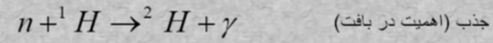
43

$$\frac{dN}{dt} = \phi\sigma n - \lambda N$$

$\phi$  = شار یا تعداد نوترون ها در سانی متر مربع در ثانیه  
 $\sigma$  = سطح مقطع فعالسازی بر حسب سانی متر مربع  
 $\lambda$  = ثابت واپاشی نمونه پرتوزای حاصل  
 $N$  = تعداد اتم های پرتوزا  
 $n$  = تعداد اتم های هدف

44

مثالهایی از برخورد جذب و پرتوزا کردن



45

**با تشکر از توجهتان**

اگر همواره مانند گذشته بیندیشید  
همان چیزهایی را بدست می آورید  
که تاکنون کسب کرده اید

46