

واکنش پرتوهای یونساز با ماده

دکتر محمد رضا منظم

استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و مدیر کل دفتر بررسی

آلودگی هوا سازمان حفاظت محیط زیست

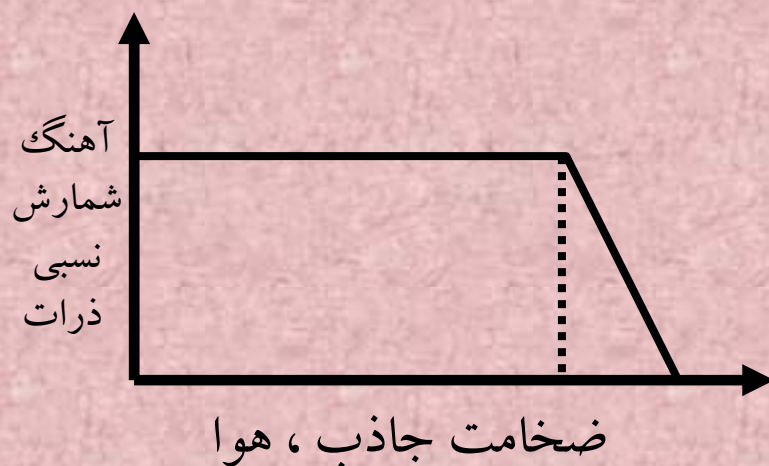
mmonazzam@hotmail.com

واکنش پرتو آلفا با ماده

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

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 تا به برد تقریبی نرسد تعداد ذرات کاهش نمی یابد که در این نقطه تعداد ذرات عبور کرده از ماده جاذب شدیداً کاهش می یابد.



ضخامتی را که در آن به یکباره جلوی تمامی ذرات گرفته می شود، برد پرتو آلفا نام دارد
برد این پرتو به عدد اتمی محیط جاذب (رابطه عکس) و انرژی ذره (رابطه مستقیم) وابسته است..

برد پرتو آلفا

برای محاسبه برد پرتو آلفا در محیط های مختلف ، ابتدا برد پرتو آلفا را در هوا محاسبه کرده و توسط روابط موجود برای محیط های دیگر تعمیم می دهند .

در هوای استاندارد یعنی هوایی با دمای 0°C و فشار 1 atm برای انرژی های مختلف معادلات زیر برقرار است .

$$R_{a(cm)} = 1.24 \times E_{(Mev)} - 2.62 \quad \rightarrow 4 < E_{Mev} < 8$$

$$R_{a(cm)} = 0.56 \times E_{(Mev)} \quad \rightarrow E_{(Mev)} < 4$$

برد در ماده

عدد جرمی ماده



$$R_m = 0.56 A_m^{1/3} \times R_a \quad \leftarrow \text{برد در هوا (cm)}$$

برد پرتو آلفا در بدن انسان

- عدد جرمی برای بافت بدن تقریباً برابر ۹ است
- با توجه به اینکه ترکیب اتمی موثر بافت بدن انسان با ترکیب هوا تفاوت چندانی ندارد بنابراین این میتوان از رابطه زیر برای محاسبه برد در بافت بدن استفاده نمود.

برد در هوا (cm)

برد در بافت بدن (cm)

$$R_a \times \rho_a = R_t \times \rho_t$$

چگالی هوا

چگالی بافت بدن که معمولاً ۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر می گیرند

مثال

- برای متوقف کردن ذرات آلفای حاصل از پلوتونیوم ۲۱۰ (انرژی برابر ۵,۳ میلیون الکترون ولت) چه ضخامتی از ورقه آلومینیومی لازم است؟

$$R = 1.24 \times 5.3 - 2.62 = 3.95 \text{ cm}$$

$$A = 27, R = 3.95 \Rightarrow R_m = 0.56 \times 27^{1/3} \times 3.95 = 6.64 \text{ mg/cm}^2$$

- برد ذرات آلفا در بافتهای بدن می تواند از رابطه زیر بدست آید:

$$R_a \times \rho_a = R_t \times \rho_t \Rightarrow R_t = \frac{3.95 \times 1.293 \times 10^{-3}}{1} = 5.1 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

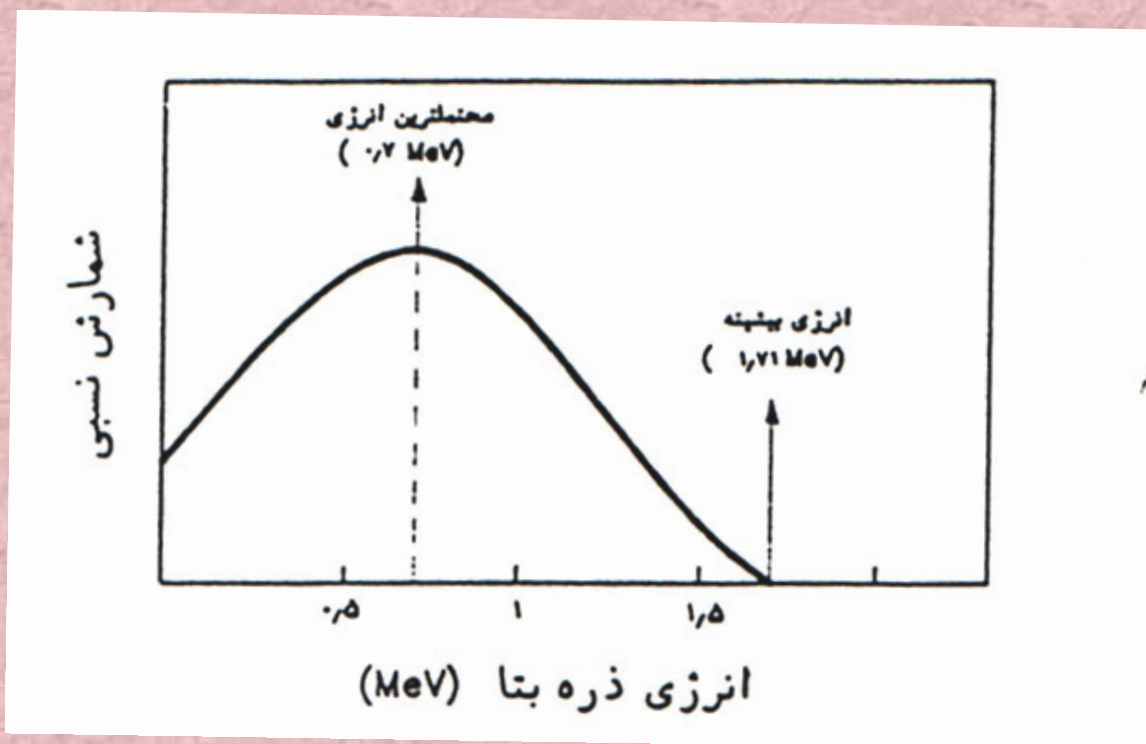
مثال

- برد ذرات آلفا با انرژی 5Mev در آلومینیوم چقدر است؟
- برد همین ذرات در بافت و پلی اتیلن (CH2) چقدر خواهد بود؟

(چگالی آلومینیوم برابر ۲,۷ گرم بر سانتی متر مکعب و چگالی پلی اتیلن را برابر ۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر بگیرید)

واکنش پرتو بتا با ماده

- همانطور که قبلا ذکر گردید ذرات بتا تک انرژی نبوده بلکه دارای طیف پیوسته ای از انرژی هستند. بعنوان مثال طیف انرژی ذرات بتا ناشی از فسفر ۳۲ در شکل زیر دیده میشود.

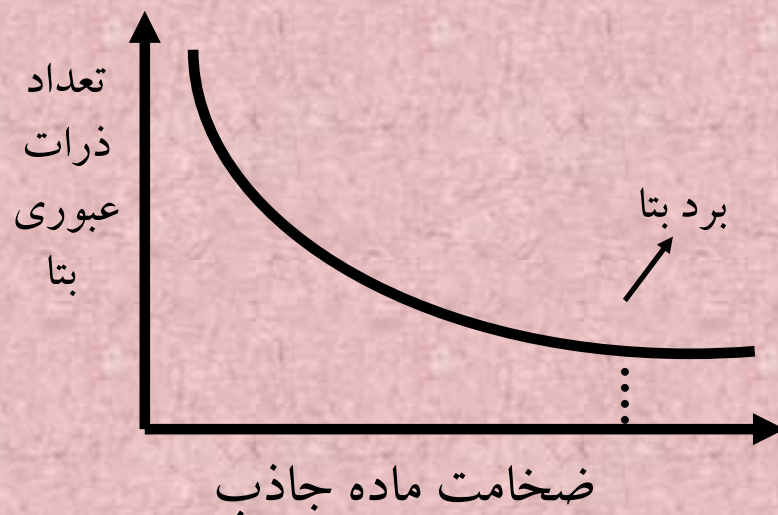


واکنش پرتو بتا با ماده :

رابطه برد - انرژی :

با قرار دادن ضخامت های مختلفی از ماده جاذب در فاصله میان چشمه بتا و آشکار ساز پرتو بتا و شمارش تعداد ذرات بتای عبوری ، می توان برد بتا را اندازه گیری کرد .

هر چه ضخامت ماده جاذب بیشتر شود ، بتای عبوری کمتر می شود تا نقطه برد بتا که در آن با افزایش ضخامت دیگر میزان عبور تغییر نمی کند .



نکته : به دلیل وجود پرتوهای زمینه این میزان صفر نمی شود .

واکنش پرتو بتا با ماده (ادامه...)

نیم - ضخامت جذب کننده :

مقدار ضخامتی از ماده جاذب است که بتواند نیمی از ذرات چشمه را متوقف کند . معمولا نیم ضخامت پرتو β ، $1/8$ برد پرتو β است

نمودار انرژی بتا تقریبا به صورت توزیع نرمال است .
بین میزان انرژی ذرات بتا و پرتوهای بتای عبوری رابطه مستقیم وجود دارد . به طوری که هر چه انرژی ذرات β بیشتر باشد ، پرتوهای بتای عبوری نیز بیشتر است .

واکنش پرتو بتا با ماده (ادامه...)

هنگامی که چگالی ماده جاذب افزایش می یابد ضخامت مورد لزوم ماده جذب کننده کاهش خواهد یافت .

بدین ترتیب قدرت جذب انرژی پرتو بتا عمدتاً به چگالی سطحی الکترون های جاذب (الکترون های موجود در هر سانتی متر مربع ماده جاذب) و همچنین تا حد کمتری به عدد اتمی ماده جاذب بستگی دارد .

در موارد عملی هنگام محاسبه ضخامت حفاظ عدد اتمی را کنار می گذارند . در صورتی که ضخامت ماده جاذب را مستقل از جنس بدست آورند ضخامت خطی حاصل می شود .

واکنش پرتو بتا با ماده (ادامه...)

برای تاثیر دادن جنس حفاظ یا ماده جاذب علاوه بر ضخامت آن از ضخامت جرمی استفاده می کنند که بصورت زیر محاسبه می شود:

$$R_m = \rho \times t_l$$

$$R_{\max} = 407 \times E_{\max}^{1.38} \longrightarrow 0.15 < E_{\max} < 0.8$$

$$R_{\max} = 542 \times E_{\max} - 133 \longrightarrow 0.8 < E_{\max} < 3$$

$$R_m = \text{ضخامت جرمی} \text{ gr/cm}^2$$

$$\rho = \text{دانشیته ماده} \text{ gr/cm}^3$$

$$t_l = \text{ضخامت خطی (معمولی)} \text{ cm}$$

$$E_{\max} = \text{انرژی بیشینه پرتو بتا بر حسب Mev}$$

مثال

• حداکثر برد ذرات بتا با انرژی 2Mev در هوا و آلومینیوم چقدر است؟

• حل:

$$\rho_{air} = 1.293 \text{ mg/cm}^3$$

$$\rho_{Al} = 2700 \text{ mg/cm}^3$$

$$R_{\max} = 542 \times 2 - 133 = 951 \text{ mg/m}^2 \text{ or } 0.951 \text{ g/cm}^2$$

$$t_{l(air)} = \frac{0.951}{1.293 \times 10^{-3}} = 735.5 \text{ cm or } 7.35 \text{ m}$$

$$t_{l(Al)} = \frac{0.951}{2.7} = 0.35 \text{ cm}$$

احتمال در برخورد بتا با هر ماده

۱- ایجاد اثر یونیزاسیون و تحریک (یونش و برانگیزش)

۲) تابش ترمزی

۳) اثر تابش چرنکوف

۴) اثر پس پراکندگی

ایجاد اثر یونیزاسیون و تحریک (یونش و برانگیزش)

چون نیروهای الکتریکی از فواصل دور اثر می کنند برخورد بین ذره بتا و الکترون همانند برخورد بین قطب های همنام دو آهنربا بدون تماس واقعی بین دو ذره است .

$$E_k = E_t - \phi$$

E_k = انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده

E_t = مقدار افت انرژی ذره بتا در حین برخورد

ϕ = پتانسیل یونش محیط جاذب

در صورتی که انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده بیش از ۱۰۰۰ eV شود که بتواند فاصله ای طولانی را بپیماید رگه ای یونشی بر جا می گذارد که به آن پرتو دلتا می گویند . این پرتو معمولاً در مواد هدفی که پتانسیل یونسازی آن ها کم است ایجاد میشود تا اختلاف انرژی پرتو β با پتانسیل یونسازی بیش از ۱۰۰۰ eV شود .

تابش ترمزی

هر گاه ذره بتا به میدان الکتریکی با بار منفی برسد سرعتش کم شده و انرژی آن کاسته می شود این کاهش انرژی به صورت فوتون نمایان می شود که پرتو ترمزی نامیده می شود کسری از انرژی بتا که تبدیل به فوتون خواهد شد به دو عامل بستگی دارد:

الف) انرژی بتا: هر چه انرژی پرتو بتا بیشتر باشد احتمال تولید فوتون نیز بیشتر است.
ب) عدد اتمی عنصر هدف: هر چه اتم سنگین تر باشد احتمال تولید فوتون بیشتر خواهد بود.

f = احتمال ایجاد فوتون (درصدی از انرژی پرتو بتا که

به فوتون تبدیل می شود)

Z = عدد اتمی ماده جاذب

E_{\max} = انرژی بیشینه ذره بتا بر حسب Mev

$$f = 3.5 \times 10^{-4} \times Z \times E_{\max}$$

تابش ترمزی (ادامه...)

$$\phi = \frac{fE_{\beta}}{4\pi r^2 E_{\max}}$$

سطح کروی انتشار پرتو بتا (در صورت کوچک بودن ابعاد چشمه) $= 4\pi r^2$

احتمال ایجاد فوتون $= \phi$

شار تابشی پرتو ترمزی $=$

$$E_{\beta} = \frac{1}{3} E_{\max} \times A$$

E_{β} = انرژی تابیده شده توسط پرتو β بتا

A = اکتیویته بر حسب بکرل

چون با افزایش عدد اتمی احتمال تولید تابش ترمزی افزایش می یابد ، حفاظ های پرتو بتا از موادی که عدد اتمی آن ها کمترین است و عملا نیز قابل استفاده اند ، انتخاب می شود .

در عمل حفاظ های با عدد اتمی بزرگتر از ۱۳ چندان مورد استفاده نیستند .

مثال

- چشمه بسیار کوچکی از فسفر ۳۲ (انرژی ماکزیمم پرتو بتا برابر ۱,۷۱ میلیون الکترون ولت) با فعالیت ۱ کوری در داخل یک محفظه سربی قرار دارد و ضخامت حفاظ درست به اندازه ای است که از خروج ذرات بتا جلوگیری میکند. شار تابشی ترمزی در فاصله ۱۰ سانتی متری از چشمه چقدر است؟

$$E_{\max} = 1.71 \text{ Mev}, \quad Z_{pb} = 82$$

$$f = 3.5 \times 10^{-4} \times 82 \times 1.71 = 0.049$$

- انرژی میانگین پرتو بتا در حدود ۱/۳ انرژی ماکزیمم آن است انرژی تابیده شده توسط ذرات بتا بر حفاظ برابر است با:

$$E_{\beta} = \frac{1}{3} E \times 3.7 \times 10^{10} = \frac{1}{3} \times 1.71 \times 3.7 \times 10^{10}$$

- و شار فوتونهای تابشی ترمزی در فاصله ۲ از رابطه زیر بدست می آید:

$$\phi = \frac{fE_{\beta}}{4\pi r^2 E_{\max}} = \frac{0.049 \times \frac{1}{3} \times 1.71 \times 3.7 \times 10^{10}}{4\pi \times 10^2 \times 1.71} = 4.8 \times 10^5 \text{ photon} / \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

اثر تابش چرنکوف

در صورتی که سرعت ذره بتا هنگام عبور از محیط از سرعت نور بیشتر باشد، سرعت ذره تا سرعت سیر نور کاهش پیدا می کند که این کاهش معمولاً به صورت طیف نور مرئی نمایان می شود که به آن پرتو چرنکوف می گویند با افزایش ضریب شکست محیط گسیل تابشی چرنکوف تشدید می شود.

افت انرژی توسط اثر چرنکوف حدود یک هزارم افت انرژی توسط اثرات یونیزاسیون و تهیج است. این اثر در آنالیز مواد و آشکار سازی کاربرد دارد.

اثر پس پراکندگی

برخی مواقع این احتمال وجود دارد که پرتوهای بتا پس از برخورد با محیط درست در راستای اولیه ولی در خلاف جهت پراکنده شوند. در این صورت پس پراکندگی رخ می دهد و این اثر به عدد اتمی، ضخامت محیط جاذب بستگی دارد و با افزایش عدد اتمی احتمال پراکندگی افزایش می یابد.

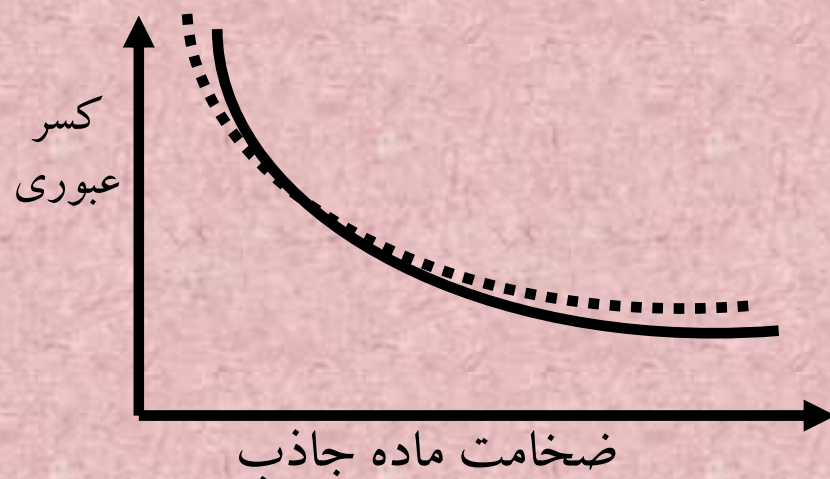
این اثر در آنالیز مواد کاربرد دارد.

واکنش پرتو گاما با ماده :

جذب نمایی :

واکنش پرتوهای گاما با پرتوهای بتا و آلفا فرق دارد به طوری که در مورد تابش گاما با افزایش ضخامت ، جذب فقط از شدت تابش کاسته می شود و جذب کامل صورت نمی گیرد بنابراین در محور عمودی نمودار ما با کسر عبوری روبرو هستیم . $\frac{I}{I_0}$

اگر اندازه گیری تضعیف پرتو گاما در شرایط هندسی خوب یعنی با استفاده از یک باریکه تابش باریک و کاملاً موازی صورت گیرد و پرتو گاما تک انرژی باشد ، یک خط مستقیم در نمودار نمایان می شود و در صورتی که پرتو گاما چند انرژی (چند رنگ) باشد نمودار به صورت نقطه چین می باشد .



واکنش پرتو گاما با ماده (ادامه...)

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu t}$$

I_0 = شدت پرتو گاما در ضخامت صفر ماده جاذب
 I = شدت پرتو گاما پس از عبور از ضخامت t در جاذب
 e = پایه ی دستگاه لگاریتم طبیعی
 μ = شیب منحنی جذب یا ضریب تضعیف
 t = ضخامت ماده جاذب

ضریب تضعیف کل : عبارتست از کسری از باریکه پرتو گاما که در طی گذار از واحد ضخامت ماده جاذب ناپدید می شود.

$$\lim \frac{\Delta i / i}{\Delta t} = -\mu$$

$\frac{\Delta i}{i}$ = کسری از پرتو گاما که در طی عبور از ماده جاذبی به ضخامت Δt ناپدید می شود.

ضریب تضعیف خطی

از آنجا که در یک معادله نمایی لازم است که نما بدون بعد باشد بعد μ و t باید عکس یکدیگر شود یعنی اگر ضخامت جاذب بر حسب سانتیمتر اندازه گیری شود آنگاه بعد ضریب تضعیف که ضریب تضعیف خطی یا μ_l خوانده می شود باید سانتیمتر به توان منفی یک باشد.

به ضریب تضعیف خطی سطح مقطع ماکروسکوپیک نیز می گویند .

ضریب تضعیف جرمی

اگر t بر حسب گرم بر سانتیمتر مربع باشد در این صورت ضریب جذب را ضریب تضعیف جرمی یا μ_m گویند که بعد آن باید برابر گرم بر سانتیمتر مربع به توان منفی یک باشد.

$$\mu_l = \mu_m \times \rho$$

μ_l = ضریب تضعیف خطی

μ_m = ضریب تضعیف جرمی

ρ = چگالی ماده جاذب

ضریب تضعیف اتمی :

کسری از باریکه پرتو گاما که بر اثر یک اتم منفرد ناپدید می شود را ضریب تضعیف اتمی یا μ_a میگویند به عبارت دیگر ضریب تضعیف اتمی همان احتمال برهم کنش یک اتم از ماده جاذب با یکی از فوتون های موجود در باریکه خواهد بود. به ضریب تضعیف اتمی سطح مقطع میکروسکوپی که نیز می گویند.

$$\mu_a = \frac{\mu_l}{N}$$

N = تعداد اتمهای موجود در هر سانتیمتر مکعب از ماده جاذب

μ_a = ضریب تضعیف اتمی

μ_l = ضریب تضعیف خطی

یکایی که برای اندازه گیری سطح مقطع به کار می رود بارن نام دارد که

$$1b = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

جدول ضرایب تضعیف خطی :

		انرژی فوتون													
	$\rho = \frac{g}{cm^3}$	۱/۱	۱/۱۵	۱/۲	۱/۳	۱/۵	۱/۸	۱/۱۰	۱/۵	۲	۳	۵	۸	۱۰	
C	۲/۲۵	۰/۱۳۵	۰/۳۰۱	۰/۲۷۴	۰/۲۳۸	۰/۱۹۶	۰/۱۵۹	۰/۱۴۳	۰/۱۱۷	۰/۹۰۱	۰/۸۰	۰/۱۶۱	۰/۴۸	۰/۴۴	
Al	۲/۷	۰/۴۳۵	۰/۳۶۲	۰/۳۲۴	۰/۲۷۸	۰/۲۲۷	۰/۱۸۵	۰/۱۶۶	۰/۱۳۵	۰/۹۱۷	۰/۹۶	۰/۱۷۶	۰/۱۶۰	۰/۱۶۲	
Fe	۷/۹	۲/۷۲	۱/۴۴۵	۱/۰۹۰	۰/۸۳۸	۰/۶۵۵	۰/۵۲۵	۰/۴۷۰	۰/۳۸۳	۰/۳۳۵	۰/۲۸۵	۰/۲۴۷	۰/۲۳۳	۰/۲۳۲	
Cu	۸/۹	۳/۸۰	۱/۸۳۰	۱/۳۰۹	۰/۹۶۰	۰/۷۳۰	۰/۵۸۱	۰/۵۲۰	۰/۴۲۴	۰/۳۷۲	۰/۳۱۸	۰/۲۸۱	۰/۲۷۰	۰/۲۲۱	
Pb	۱۱/۳	۵۹۷	۲۰/۸	۱۰/۱۵	۴/۰۲	۱/۶۴	۰/۹۴۵	۰/۷۷۱	۰/۵۷۹	۰/۵۱۶	۰/۴۷۶	۰/۴۸۲	۰/۵۱۸	۰/۵۵۲	
هوا	۱/۲۹ $\times 10^{-3}$	۱/۹۵ $\times 10^{-4}$	۱/۷۳ $\times 10^{-4}$	۱/۵۹ $\times 10^{-4}$	۱/۳۷ $\times 10^{-4}$	۱/۱۲ $\times 10^{-4}$	۹/۱۲ $\times 10^{-5}$	۸/۴۵ $\times 10^{-5}$	۶/۶۷ $\times 10^{-5}$	۵/۷۵ $\times 10^{-5}$	۴/۶ $\times 10^{-5}$	۳/۵۴ $\times 10^{-5}$	۲/۸۴ $\times 10^{-5}$	۵۲/۶۱ $\times 10^{-5}$	
آب	-	۰/۱۶۷	۰/۱۴۹	۰/۱۳۶	۰/۱۱۸	۰/۰۹۷	۰/۰۷۹	۰/۰۷۱	۰/۰۵۶	۰/۰۴۹	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۲	
بنون	۲/۳۵	۰/۳۹۷	۰/۳۲۶	۰/۲۹۱	۰/۲۵۶	۰/۲۰۴	۰/۱۶۶	۰/۱۴۹	۰/۱۲۲	۰/۹۰۵	۰/۸۵	۰/۰۶۷	۰/۰۵۷	۰/۵۵۴	

مثال

- برنز آلومینیومی آلیاژی است که ۹۰٪ وزن آن از Cu (وزن اتمی ۶۳,۵۷) و ۱۰٪ آن از Al (وزن اتمی ۲۷) و چگالی آن برابر ۷,۶ گرم بر سانتی متر مکعب است. ضرایب تضعیف خطی و جرمی این آلیاژ را برای پرتوهای گاما با انرژی ۰,۴ میلیون الکترون ولت پیدا کنید. سطح مقطع مس و آلومینیوم برای این پرتو برابر ۹,۹۱ و ۴,۴۵ بارن در نظر بگیرید.

$$\mu_l = N \times \mu_a$$

$$\mu_l = \mu_{a(Cu)} \times N_{Cu} + \mu_{a(Al)} \times N_{Al}$$

$$N_{Cu} = \frac{6.03 \times 10^{23}}{63.57} \times 7.6 \times 0.9 = 6.49 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3,$$

$$N_{Al} = \frac{6.03 \times 10^{23}}{27} \times 7.6 \times 0.1 = 1.7 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$$

$$\mu_l = 9.91 \times 10^{-24} \times 6.49 \times 10^{22} + 4.45 \times 10^{-24} \times 1.7 \times 10^{22} = 0.705 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_m = \frac{\mu_l}{\rho} = \frac{0.705}{7.6} = 0.0927 \text{ cm}^2/\text{g}$$

مثال

- ضخامت ماده جاذب از نوع آلومینیوم و سرب چقدر باید باشد تا ۱۰٪ از باریکه ظرفی از تابش گاما به انرژی 0.1 Mev عبور کند؟
- حل از جدول ضرایب تضعیف خطی آلومینیوم و سرب:

$$\mu_{l(pb)} = 59.7 \text{ cm}^{-1}, \quad \mu_{l(Al)} = 0.435 \text{ cm}^{-1}$$

$$\frac{I}{I_0} = 0.1 = e^{-0.435 \times t_{Al}} \Rightarrow t_{Al} = 5.3 \text{ cm}$$

$$0.1 = e^{-59.7 \times t_{pb}} \Rightarrow t_{pb} = 0.0385 \text{ cm}$$

مثال

- محاسبه قسمت اسلاید قبل برای پرتوی گاما با انرژی ۱ میلیون الکترون ولت؟

$$\mu_{l(pb)} = 0.771 \text{ cm}^{-1} \quad , \quad \mu_{l(Al)} = 0.166$$

$$0.1 = e^{-0.166 \times t_{Al}} \Rightarrow t_{Al} = 13.86 \text{ cm}$$

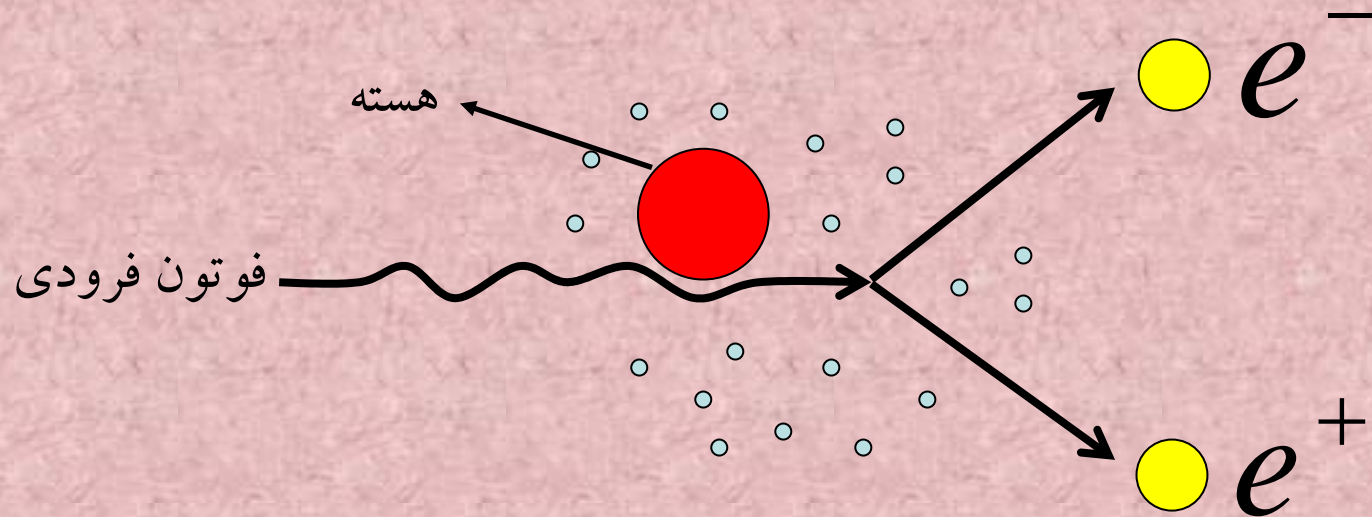
$$0.1 = e^{-0.771 \times t_{pb}} \Rightarrow t_{pb} = 2.97 \text{ cm}$$

۴ روش برخورد پرتو گاما با ماده :

- (۱) ایجاد زوج یون
- (۲) پراکندگی کامپتون
- (۳) جذب فوتو الکتریک
- (۴) فروپاشی فوتونی

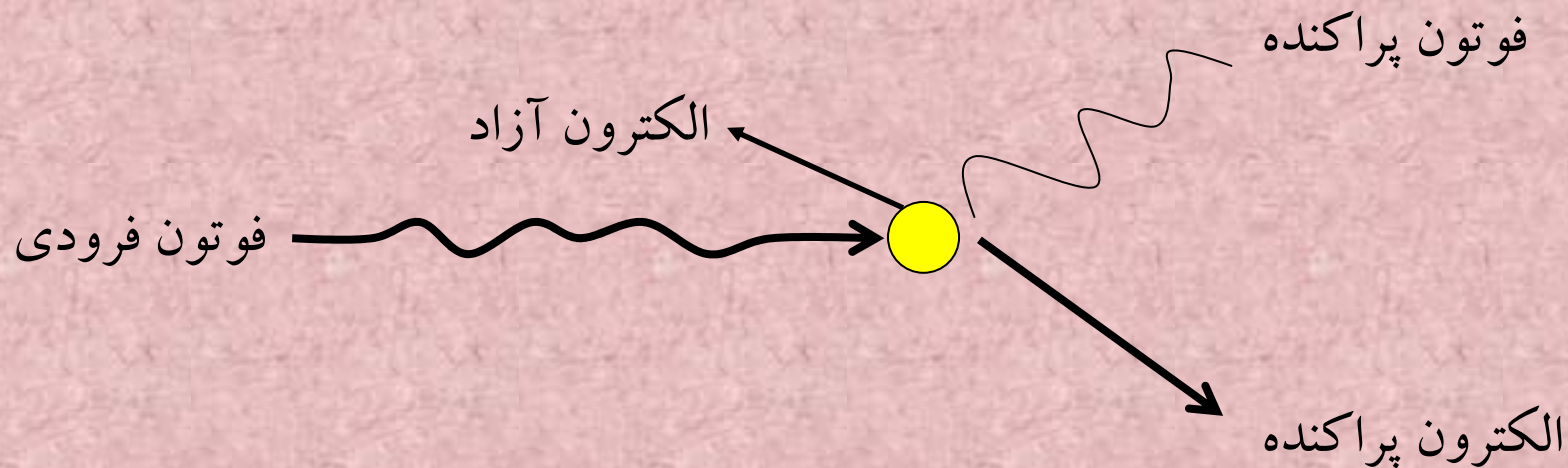
ایجاد زوج یون

در صورتی که انرژی پرتو گاما بیشتر از 1.02 Mev باشد و به هسته ی عنصر سنگین برخورد کند انرژی به صورت یک پوزیترون و یک الکترون پدیدار می شود. هر چه عدد اتمی عنصر هدف بیشتر باشد احتمال تولید زوج یون بیشتر می شود.



پراکندگی کامپتون

در این حالت فوتون به الکترونی برخورد می کند که وابستگی زیادی به هسته ندارد یعنی انرژی بستگیش به اتم خیلی کمتر از انرژی فوتون فرودی است (الکترون آزاد) بخشی از انرژی فوتون صرف خروج الکترون از مدار شده و بقیه انرژی به همان شکل فوتون در جهت دیگری پراکنده می شود . حاصل برخورد یک الکترون سریع و بخشی از پرتو گاما با انرژی کمتر از انرژی اولیه است .



جذب فوتو الکتریک

اگر فوتونی به الکترونی از اتم برخورد کند که وابستگی انرژی آن به هسته زیاد باشد تمام انرژی فوتون در برخورد با الکترون از دست رفته و به عبارتی فوتون نابود شده و کل انرژی به الکترون داده می شود و انرژی الکترون برابر با انرژی فوتون منهای انرژی وابستگی آن به هسته خواهد بود .

$$E_e = E_\gamma - E$$

هر چه هسته سنگین تر باشد این احتمال افزایش می یابد .

فروپاشی فوتونی

معمولا در انرژی های خیلی بالا اتفاق می افتد و در این احتمال فوتون به داخل هسته نفوذ می کند و انرژی فوتون صرف بالا بردن سطح انرژی هسته می شود که نتیجه آن در بیشتر موارد گسیل نوترون از هسته است . تمام موارد ذکر شده در مورد پرتو گاما در مورد پرتو X هم قابل تعمیم است .

واکنش پرتو نوترون با ماده

از آنجا که نوع واکنشی که نوترون انجام می دهد قویا به انرژی و وابسته است نوترون ها را بر حسب انرژی نشان رده بندی می کنند . نوترون های پر انرژی را که انرژی شان بیش از حدود 0.1 Mev است را نوترون های تند می گویند. در طرف دیگر طیف انرژی نوترون های گرمایی را باید نام برد که میانگین انرژی جنبشیشان همانند میانگین انرژی مولکول هایی است که در همان محیط قرار دارند .
از نوترون هایی که انرژی شان در ناحیه ی میانی انرژی گرمایی و تند قرار می گیرد با عناوین نوترون های میانی ، نوترون های تشدید و نوترون های کند یاد می کنند .

$$E_n < 0.5 \text{ ev}$$

نوترون حرارتی

$$0.5 \text{ ev} < E_n < 1 \text{ ev}$$

نوترون فوق حرارتی

$$1 \text{ ev} < E_n < 10 \text{ kev}$$

نوترون میانی

$$10 \text{ kev} < E_n < 1 \text{ Mev}$$

نوترون تند

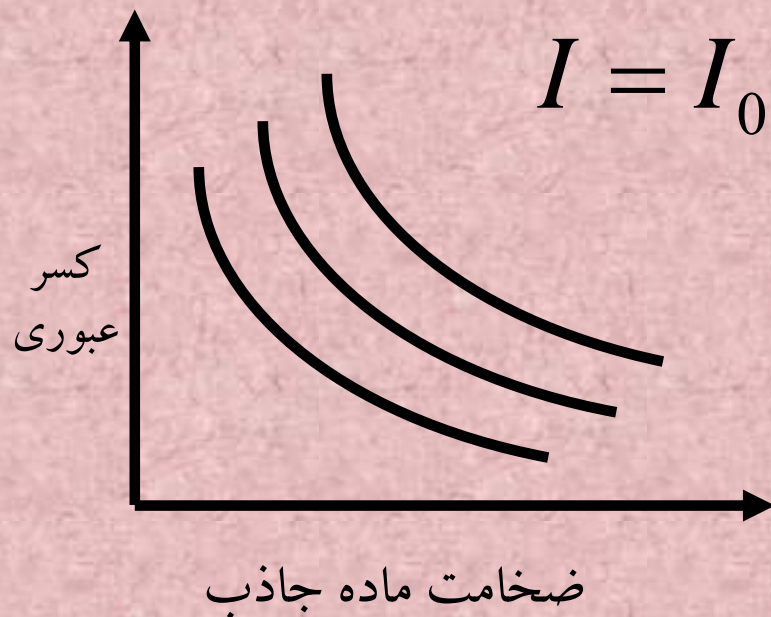
$$E_n > 1 \text{ Mev}$$

نوترون خیلی تند

برهم کنش

همه نوترون ها به هنگام تولید نوترون های تند به شمار می روند به طور کلی نوترون های تند ابتدا بر اثر برخورد کشسان با اتمهای محیط انرژی شان را از دست می دهند و پس از کند شدن و رسیدن به انرژی گرمایی یا نزدیک به آن توسط هسته های ماده ی جاذب گیراندازی می شوند .

هنگامی که ماده ی جاذب کننده را در مقابل باریکه ای موازی از نوترون ها قرار می دهیم و مانند پرتوهای گاما شدت نوترون های عبوری را اندازه گیری می کنیم ملاحظه می شود که نوترون ها هم به طور نمایی از باریکه محو می شوند .



- I_0 = شدت انرژی اولیه پرتو نوترون
 - I = شدت انرژی پرتو نوترون پس از عبور از حفاظ
 - δ = سطح مقطع میکروسکوپی (ضریب تضعیف اتمی)
 - e = پایه دستگاه لگاریتم طبیعی
 - t = ضخامت ماده جاذب cm
 - N = تعداد اتم های جاذب
 - δN = سطح مقطع ماکروسکوپی (ضریب تضعیف خطی)
- سطح مقطع نوترون شدیداً وابسته به انرژی است

مثال

- در آزمایشی که برای اندازه گیری سطح مقطع کل سرب برای نوترونهای ۱۰ میلیون الکترون ولت طراحی شده بود معلوم شد که ۱ سانتی متر از ماده جاذب سرب شار نوترون را به ۸۴,۵٪ از مقدار اولیه اش تقلیل میدهد. وزن اتمی سرب برابر ۲۰۷,۲۱ و وزن مخصوص آن ۱۱,۳ است. سطح مقطع کل سرب را محاسبه کنید.

$$N = \frac{6.03 \times 10^{23}}{207.21} \times 11.3 = 3.29 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\sigma N t} \Rightarrow 0.845 = e^{-\sigma \times 3.29 \times 10^{22} \times 1} \Rightarrow \sigma = 5.1 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = 5.1 \text{ barn} \quad \text{سطح مقطع میکروسکوپی}$$

$$\sigma N = 5.1 \times 10^{-24} \times 3.29 \times 10^{22} = 0.168 \text{ cm}^{-1} \quad \text{سطح مقطع ماکروسکوپی}$$

روش های برخورد نوترون با ماده

برخوردهای از نوع پراکندگی: در این نوع برخوردها ماهیت ماده عوض نمیشود که خود عمدتاً به دو دسته تقسیم میشود:

پراکندگی کشسان

پراکندگی غیر کشسان

در دو نوع فوق نوترونهای تند و خیلی تند غالب هستند.

برخوردهای از نوع گیر اندازی: در این برخوردها هویت ماده جاذب عوض میشود و عمدتاً شامل چهار دسته اند:

جذب

پرتوزا کردن

شکافت

در هم پاشی

در سه نوع اول نوترونهای حرارتی و فوق حرارتی و در نوع آخر نوترونهای خیلی تند غالب هستند

برخورد کشسان

- در این برخورد نوترونهاى تند و خيلى تند بخشى از انرژى خود را به هسته اتم منتقل نموده و موجب پراکنده شدن آن ميشوند.
- در اين برخوردها كسرى از انرژى كه به محيط با جرم اتمى M منتقل ميشود از رابطه زير بدست مى آيد:

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

- ملاحظه ميشود هر قدر محيط سبكتتر باشد انرژى بيشترى از نوترون به آن منتقل ميشود.

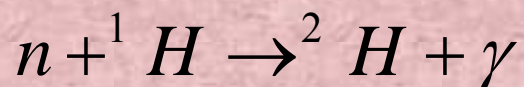
برخورد غیرکشسان

- در این برخورد نوترونهاى تند و خيلى تند بخشى از انرژى خود را به هدف (معمولا با عدد اتمى بالا) منتقل ميکنند و خود با انرژى کمترى پراکنده ميشوند بدون آنکه هسته اتم از جاى خود حرکت کند و فقط بر انگيخته ميشود که حاصل يک پرتو گاما يا پروتون يا آلفا خواهد بود. اين برخورد بيشتري با اتمهاى سنگين اهميت دارد بنابر اين از نظر بافت اهميت چندانى ندارد.

برخورد جذب و پرتو زا کردن

- در برخورد جذب، نوترونهای حرارتی و فوق حرارتی جذب هسته هدف شده و حاصل آن یک پرتو گاما یا پرتون یا آلفا خواهد بود.
- چنانچه هسته حاصل از برخورد جذب پرتوزا باشد در اینصورت آنرا برخورد پرتوزا کردن گویند.
- برخوردهای از نوع پرتوزا کردن در اندازه گیری شار نوترونها، تهیه و تولید رادیو ایزوتوپها، آنالیز کمی و کیفی مواد، تعیین مقدار پرتوگیری نوترون در سوانح هسته ای و.. کاربرد دارند.

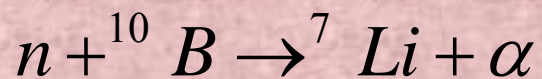
مثالهایی از برخورد جذب و پرتوزا کردن



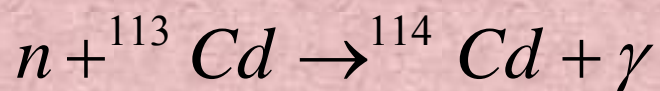
جذب (اهمیت در بافت)



جذب و پرتوزا کردن (اهمیت در بافت)



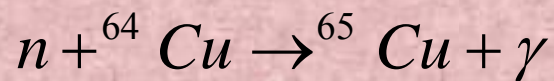
جذب (اهمیت در آشکارسازی)



جذب (اهمیت در آشکارسازی)



پرتوزا کردن



پرتوزا کردن



پرتوزا کردن



پرتوزا کردن

برخورد شکافت و در هم پاشی

- **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.

- **برخورد در هم پاشی:**

در این نوع برخورد، نوترونهای خیلی تند در حدود چند ده مگا الکترون ولت جذب هسته هدف شده و هسته مرکب تشکیل میشود که این هسته پاره پاره شده و چندین ذره و پاره های هسته ای و نوترون و فوتون تولید میشود.

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

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

ϕ = شار یا تعداد نوترون ها در سانتی متر مربع در ثانیه

σ = سطح مقطع فعالسازی بر حسب سانتی متر مربع

λ = ثابت واپاشی نمونه پرتوزای حاصل

N = تعداد اتم های پرتوزا

n = تعداد اتم های هدف