

به نام خدا

جلسه 6

یادآوری از جلسه پیش

عواملی که تعیین کننده چگونگی تغییر دوز در عمق هستند .

1-عکس مجذور فاصله

2-تضعیف نمایی

3-پراکندگی

انرژی و اثری که در آن انرژی برجسته است (فوتو الکتریک ، کامپتون ، تولید جفت)

Dose (in any medium) and

Exposure (which is only defined in air)

اگر اکسپوژر برابر یک رونتگن (واحد اکسپوژر) باشد دوز جذبی هوا برابر 0.869rad یا cGy است .

$$1R = 0.869 \text{ rad (air)}$$

$$D_{\text{air}} (\text{rad}) = 0.869 (\text{rad/R}) \cdot X (R)$$

پس مقدار دوز جذبی در هوا برابر است با 0.869 ضرب در تعداد رونتگن است .

برای بدست آوردن دوز جذبی در ماده کافی است 0.869 (مقدار دوز جذبی در هوا یا D_{air}) را در

ضریب جذبی جرمی ماده $(\frac{\mu}{\rho})_{\text{med}}$ ضرب و بر ضریب جذب جرمی هوا $(\frac{\mu}{\rho})_{\text{air}}$ تقسیم کنیم و در تعداد رونتگن ضرب کنیم .

$$D_{\text{medium}} (\text{rad}) = 0.869 (\mu/\rho)_{\text{med}} / (\mu/\rho)_{\text{air}} \cdot X (R)$$

تعریف *f-Factor*: مقدار ثابتی است که از ضرب دوز جذبی هوا در ضریب جذب جرمی ماده تقسیم بر ضریب جذب جرمی هوا بدست می آید .

$$1R = 0.869 \text{ rad (air)}$$

$$D_{\text{air}} (\text{rad}) = 0.869 (\text{rad/R}) \cdot X (R)$$

$$D_{\text{medium}} (\text{rad}) = 0.869 (\mu/\rho)_{\text{med}} / (\mu/\rho)_{\text{air}} \cdot X (R)$$

$$D_{\text{medium}} (\text{rad}) = f \cdot X (R)$$

محدودیت *f-Factor*: چون اکسپوزر برای انرژیهای بالای 3mev تعریف نمی شود پس *f-Factor* نیز برای انرژی بالای 3mev تعریف نمی شود .

f-Factor table

برطبق جدول در انرژی های پایین چون اثر فوتو الکتریک برجسته است $\frac{\mu}{\rho}$ یا ضریب جذب استخوان زیاد است و بنابراین در این انرژی ها *f-Factor* استخوان بالا است . اما در انرژیهای بالا مشابه آب و ماهیچه است اما چون Z آب و ماهیچه چندان بالا نیست ، *f-Factor* آنها در انرژیهای مختلف تغییر زیادی نمی کند .

f-Factor با انرژی فوتون (kv) و جنس ماده تغییر می کند .

Table 8.1.
f Factors for Water, Bone, and Muscle under Conditions of Charged Particle Equilibrium

Photon Energy (keV)	<i>f</i> Factor					
	Water		Bone		Muscle	
	(Gy kg/C)	(rad/R)	(Gy kg/C)	(rad/R)	(Gy kg/C)	(rad/R)
10	35.3	0.911	134	3.46	35.7	0.921
15	34.9	0.900	149	3.85	35.7	0.921
20	34.6	0.892	158	4.07	35.6	0.919
30	34.3	0.884	164	4.24	35.6	0.918
40	34.4	0.887	156	4.03	35.7	0.922
50	34.9	0.900	136	3.52	36.0	0.929
60	35.5	0.916	112	2.90	36.3	0.937
80	36.5	0.942	75.1	1.94	36.8	0.949
100	37.1	0.956	56.2	1.45	37.1	0.956
150	37.5	0.967	41.2	1.06	37.2	0.960
200	37.6	0.969	37.9	0.978	37.2	0.961
300	37.6	0.970	36.5	0.941	37.3	0.962
400	37.6	0.971	36.2	0.933	37.3	0.962
600	37.6	0.971	36.0	0.928	37.3	0.962
1000	37.6	0.971	35.9	0.927	37.3	0.962
2000	37.6	0.971	35.9	0.927	37.3	0.962

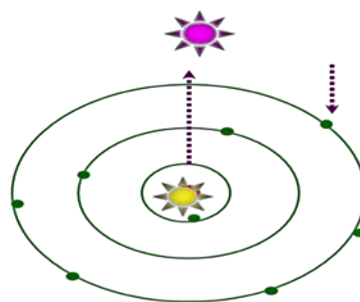
برهم کنش ذرات باردار با اتم : برهم کنش ذرات باردار با اتم در واقع برهم کنش میدان الکتریکی ذره و میدان الکتریکی هسته و سایر الکترونهاست .

Interaction of Charged Particle with an Atom

Interaction of the **E** field of the particle, with the **E** field of the nucleus and electrons.

Energy loss proportional to

- $(\text{charge})^2$
- $1/\text{velocity}$



Charged particle deposits energy

از دست دادن انرژی متناسب با بار به توان 2 و عکس سرعت است دلیل اهمیت بار (تناسب با بار به توان 2) این است که هرچه بار بیشتر باشد برهم کنش در میدان بیشتر است و دلیل تناسب با عکس سرعت این است که هرچه ذره پرسرعت تر باشد (پر انرژی تر) برهم کنش در میدان کمتر است و ذره سریعتر از میدان عبور می کند .

Elastic and Inelastic Collisions

برخورد الاستیک و غیر الاستیک

در برخورد الاستیک انرژی توزیع دوباره می شود ولی انرژی از بین نمی رود .مثال: اگر دوگلوله با انرژیهای 1 و 2 با هم برخورد کنند برخورد الاستیک داشته باشند انرژی آنها بعد از برخورد 1.3 و 1.7 خواهد بود . (مجموعه انرژی ها ثابت است)

در برخورد الاستیک انرژی اولیه برابر انرژی ذرات بعدی است .

برخورد غیر الاستیک : مقداری گرما تلف می شود . مقداری از انرژی جنبشی به گرما تبدیل می شود و تلف می شود .

Elastic Collisions:

K.E. redistributed among particles, no K.E. lost

Elastic Collision

$$E_1 = E_2 + E_3$$

Inelastic Collisions:

K.E. lost to heat, ionization, photons or excitation

Inelastic Collision

$$E_1 = E_2 + E_3 + \text{heat}$$

Charateristics of an electron beam : منحنی درصد دوز عمقی بیم الکترونی:

در این منحنی بیلد آپ کم است و از 85% تا 100% را surface dose یا دوز سطحی می نامند .

R100 عمقی که دوز حداکثر را دارد .

R50 عمقی که دوز 50% را دارد. در برخی محاسبات دوزیمتری استفاده می شود .

R_p جایی که منفی تمام شده است و از آن به بعد منفی اهمیت ندارد . پایین تر از R_p دوز دریافت نمی کند

x-ray component: آلودگی فوتونی ، به این معنا که در هنگام تابش الکترونی مقداری فوتون تولید می شود و چون ما به این فوتون ها نیاز نداریم به آن آلودگی فوتونی می گوییم .

مشخصات بیم الکترونی :

قوانین سرانگشتی

1- الکترون در هر سانتیمتر 2mev انرژی در آب از دست می دهد .

2- برای اینکه عمق 90 درصد را بدست آوریم انرژی را بر 4 تقسیم می کنیم .

برای اینکه عمق 80 درصد را بدست آوریم انرژی را بر 3 تقسیم می کنیم .

برای بدست آوردن مکان R_p انرژی را تقسیم بر 2 می کنیم (انتهای منحنی)

مثلا برای انرژی 22mev, 90 درصد در عمق 5/5 و 80 درصد در عمق 7 و R_p در 11 سانتیمتر است .

برای انرژی 20mev, 90 درصد در عمق 5 و 80 درصد در عمق 6/8 و R_p در عمق 10 سانتیمتر است .

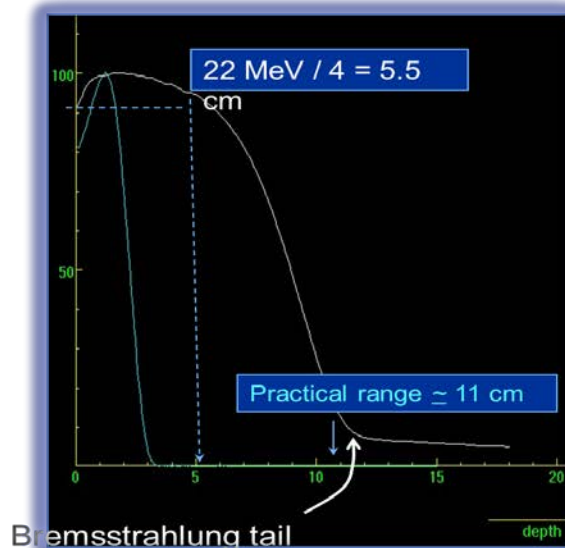
3- الکترون از بالا به پایین به طور پیوسته انرژی از دست می دهد . (دوز پوست بالا است)

4- می توان هر جا را که می خواهیم **block** کنیم یعنی چیزی قرار دهیم که به جاهایی که نمی خواهیم اثری نرسد .

Electron Beam Characteristics

Rules of Thumb

1. Lose 2 MeV/cm in water
2. To get the 90% range, divide by 4
80%, divide energy by 3
3. Electrons deposit energy in a continuum - skin dose is high
4. Moderate blocking has little effect on beam



سؤال : اگر توموری در عمق 4 سانتیمتر باشد چه انرژی برای آن مناسب است ؟ (در رادیو تراپی معمولاً 80 درصد را در نظر می گیرند)

$$3 \times 4 = 12$$

بیم پروتونی (منحنی قرمز را به عنوان بیم پروتونی در نظر بگیرید)

Bragg Peak: عمقی که در آن عمق منحنی به یک باره سقوط می کند به این معنی که پروتون بعد از آن عمق به یکباره انرژی خود را از دست می دهد . عمقهای قبل از **Bragg Peak** دوز کمی دریافت می کند و عمق های بعد از آن دوزی جذب نمی کند و به بافت های سالم آسیبی نمی رسد که این مسئله مزیت پرتوهای پروتونی است .

با توجه به نمودار می توانیم انرژی پروتون را به گونه ای تنظیم کنیم که **Bragg Peak** در محل تومور واقع شود .

گاهی طول تومور بیشتر از طول پیک است پس نیاز است تا طول پیک باریک را پهن کنیم که برای اینکار چندین پروتون با انرژیهای مختلف می فرستد تا دامنه پیک افزایش یابد بعنوان مثال با توجه به

نمودار برای اینکه یک پیک 2.8cm ایجاد شود پروتون هایی با انرژیهای مختلف فرستاده می شود که نتیجه آن ایجاد یک منحنی با پیک 2/8 سانتیمتر است. دوز عمق های قبل از پیک این منحنی افزایش می یابد بدلیل اینکه دوز عمق های قبل از پیک پروتون های مختلف با یکدیگر جمع شده است . اما مزیت آن طولانی بودن پیک آن است که به آن پیک گسترش یافته می گویند .

مزیت Bragg Peak این است که قبل از پیک بافت دوز کمی دریافت می کند و بعد از آن بافت دوزی دریافت نمی کند و می توان به محدوده هدف دوز بالایی رساند .

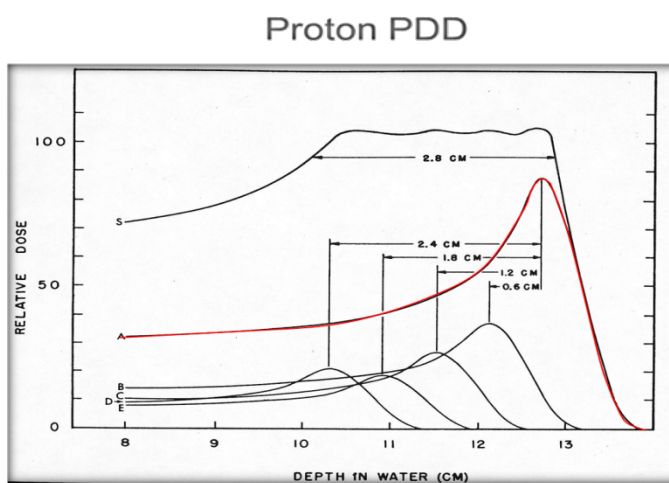
پروتون در مسیر مستقیم و با حداقل پراکندگی منتشر می شود .

Heavy Charged Particle Characteristics

1. Bragg Peak Distribution

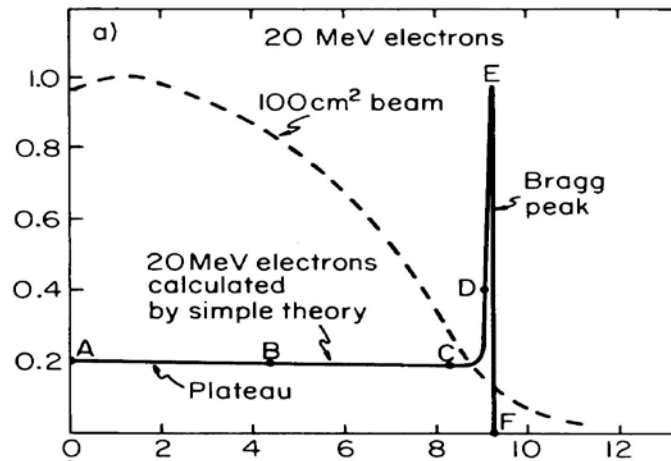
2. Travel in straight lines with little scatter

3. Can manipulate Bragg Peak with filters or energy (spread out peak).



مقایسه منحنی درصد دوز عمقی پروتون با الکترون: سقوط منحنی بیم پروتونی بسیار سریعتر از سقوط منحنی بیم الکترونی است. در واقع دلیل اینکه توزیع پروتون اینگونه است این است که پروتون ابتدا با محیط برهم کنش می کند و در طی این برهم کنش ها انرژی (سرعت) آن کم می شود و هنگامی که انرژی آن به میزان معینی رسید به یکباره تعداد برهم کنش های آن با محیط زیاد می شود و پروتون انرژی خود را به یکباره از دست می دهد و منحنی به یکباره سقوط می کند .

این نمودار مقایسه پرتوهای الکترونی و پروتونی است که بیان می کند الکترون نسبت به پروتون سقوط دوز آهسته تری دارد اما در عمل از الکترون ترایی بیشتر استفاده می شود چون پروتون ترایی هزینہ بر بوده و دستگاههای عظیمی دارد .



← Plateau صاف

پرتوهای نوترونی :

استفاده از پرتوهای نوترونی در رادیو تراپی خیلی محدود است .

ذرات بدون بار نسبت به پروتونها نفوذ خیلی زیادی دارد چون پروتونها بار دارند و برهم کنش زیادی انجام می دهند ولی نوترونها به دلیل جرم سنگینشان فقط با هسته برهم کنش می کند . یعنی ممکن است مستقیم به هسته برخورد کند پس نفوذشان بیشتر است . نوترون از ماده می گذرد تا وقتی که به یک هسته برخورد کند و برخورد الاستیک دارد .

هنگامی که نوترون با هسته برخورد می کند مقداری از انرژی آن کاسته شده و منحرف می شود و همچنین هسته مقداری انرژی می یابد و پس زده می شود (مقداری به عقب حرکت می کند) و هنگامی که هسته پس زده می شود چون جرم زیادی دارد برهم کنش های زیادی در محیط ایجاد می کند و انرژی زیادی به محیط واگذار می کند.

• Uncharged particles are highly penetrating compared to protons

• Pass through matter until they contact a nucleus

• Elastic Scattering

• Produce recoil particles that are high LET

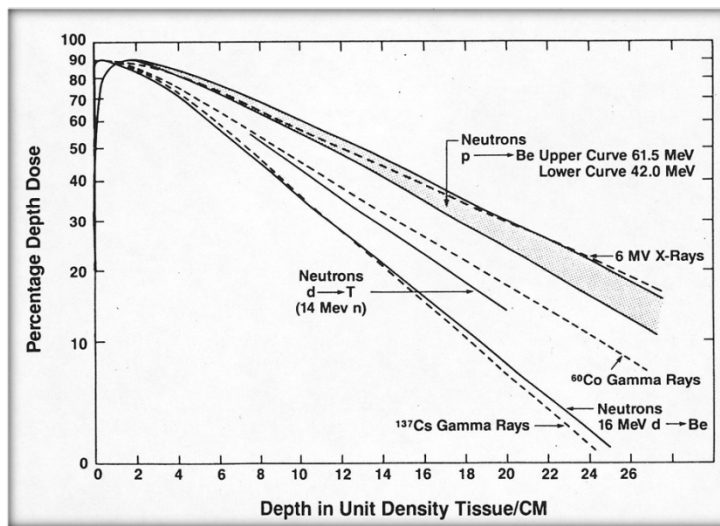
منحنی درصد دوز عمقی نوترون :

این منحنی شبیه منحنی درصد دوز عمقی فوتون است . با توجه به شکل منحنی نوترون 14 Mev با انرژی Co60 با انرژی 1.25 Mev تقریباً منطبق است و دلیل آن اینست که اگرچه نوترون کم برخورد می کند اما هنگامی که برخورد می کند انرژی زیادی از دست می دهد .

همچنین منحنی نوترون 60Mev با فوتون 6Mv مشابه است و همینطور منحنی نوترون 16Mev با Cs برابر است .

Neutron PDD

- 14-16 MeV neutrons have similar PDD to cobalt, cesium
- Require 60 MeV before they are comparable to 6MV photons



رادیولوژی 89 دانشگاه علوم پزشکی تهران

