

به نام خدا

جلسه پنجم

دوز در عمق ماده چگونه تغییر می کند ؟

پرتوهای فوتونی :

چه فاکتورهایی در توزیع دوز در عمق (مربوط به پرتوهای فوتونی) اهمیت دارد :

1- قانون عکس مجذور فاصله

2- تضعیف نمایی

3- پراکندگی

Depth dose distribution

Important factors:

-Inverse square law

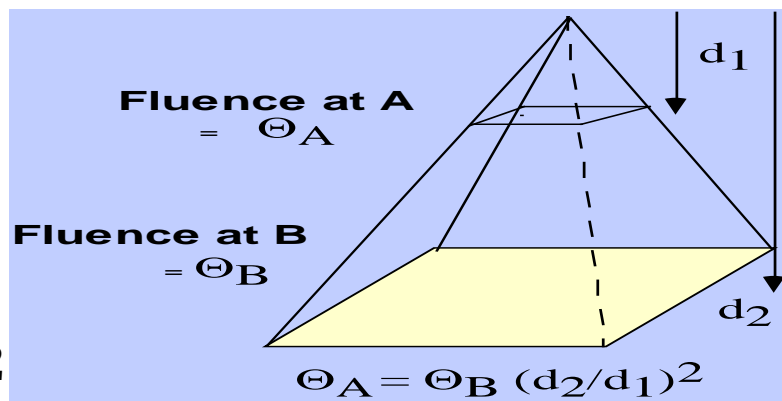
-exponential attenuation

-Scattering

Inverse Square Law

قانون عکس مجذور فاصله :

$$\frac{A}{B} = \frac{Q_B}{Q_A} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$



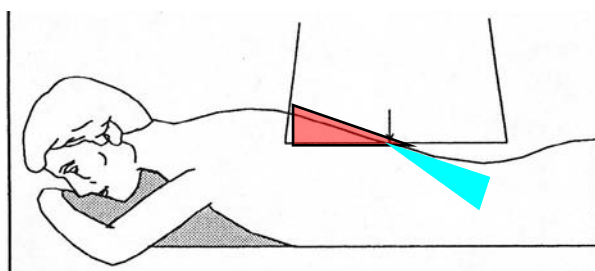
A: مساحت A B: مساحت B QB: شار در سطح B QA: شار در سطح A D2=2D1

باتوجه به اینکه تعداد فوتون در سطح A و B برابر است و نیز سطح B چهار برابر سطح A است پس شار B، $\frac{1}{4}$ شار A است .

قانون عکس مجور فاصله :

اگر فاصله را دو برابر کنیم تعداد فوتون ها در واحد سطح $\frac{1}{4}$ می شود . چون فوتون ها در سطح 4 برابر بزرگتر پخش می شود .

در رادیو تراپی انحنای سطوح چیز مهمی است . چون باعث می شود قسمتی دوز بیشتری نسبت به قسمت دیگر دریافت کند و چون با مجذور فاصله مرتبط است پس یک فاصله کوچک نیز اهمیت زیادی پیدا می کند .



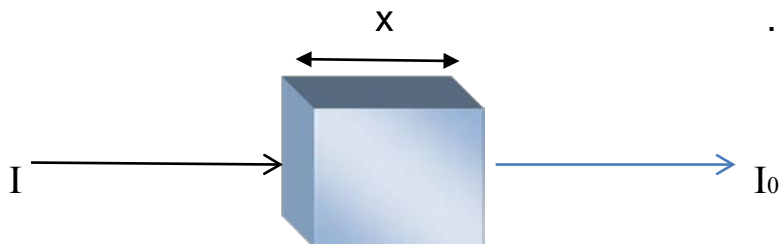
برای یک چشمه نقطه ای شدت میدان تابشی متناسب با عکس مجذور فاصله است .

For a point source, the intensity of the radiation field is proportional to the inverse square of the distance

Exponential Attenuation

تضعیف نمایی :

چون ما داریم عمقی را طی می کنیم (از یک ضخامت X عبور می کنیم) پس قانون تضعیف نمایی قانون مهمی است .



$$I = I_0 e^{-\mu x} \text{ (linear) or } I = I_0 e^{-(\mu/\rho)x} \text{ (mass)}$$

$$\text{PDD} = \frac{Dd}{Dd_0} \times 100 \text{ (Percentage Depth dose)}$$

پراکندگی :

هرچه چگالی ماده ای که فوتون ها با آن برخورد می کند بیشتر باشد (تراکم مولکول ها بیشتر) پس پراکندگی فوتون هایی که با آن ماده برخورد می کند بیشتر می شود و همچنین هر چه فیلد سائز کوچکتر باشد پراکندگی کمتر است .

این سه عامل با هم باعث می شود توزیع دوز در عمق تغییر کند .

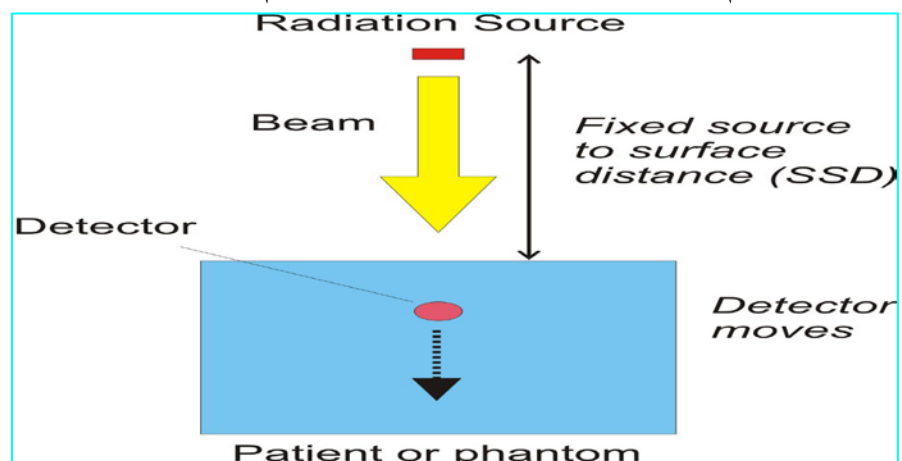
اندازه گیری دوز عمقی :

ساده ترین فانتوم ، فانتوم آب است که یک مکعب پراز آب است .

مزیت : همیشه در دسترس است – همه اندازه گیریها روی آن است – نزدیک به بدن انسان است

اندازه گیریهای رادیو تراپی همه با فانتوم آب است .

یک دسته بیم به فانتوم تابانده (ساده ترین و مهم ترین اندازه گیری روی محور مرکزی است) تا ببینیم که دوز در عمق چه تغییری می کند . برای اینکار یک آشکار ساز detector در داخل فانتوم قرار می دهیم و این detector را حرکت می دهیم تا مقدار دوز را در اعماق مختلف بررسی کنیم .



چطور می توانیم بفهمیم الگوی تغییر چگونه است ؟

درصد دوز عمقی روی محور مرکزی تعریف می شود پس ما فقط روی محور مرکزی صحبت می کنیم

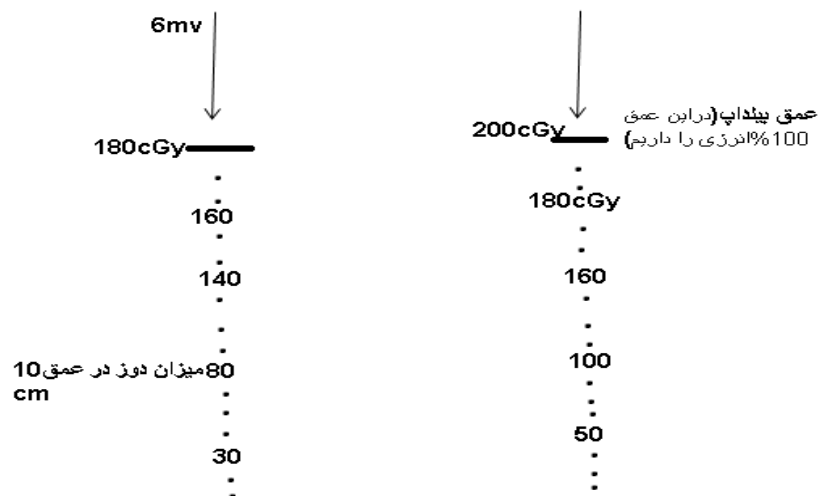
عمق بیلد اپ :

عمق حداکثر دوز است که بستگی زیادی نسبت به انرژی دارد .

انرژی ↑ ← بیلد اپ ↑

از سطح تا عمق بیلد آپ تغییرات دوز خیلی زیاد است و همه دتکتورهاها توانایی آشکار کردن دوز را ندارند و معمولاً دتکتورهاها از بعد از عمق بیلد آپ دوز را محاسبه می کنند .

پس ما برای تغییرات نیاز به یک الگو داریم تا نیاز نباشد برای هر مقدار اشعه دوباره اندازه گیری کنیم الگوی تغییر به ما نشان می دهد که با افزایش عمق چه نسبت از دوز کم می شود .



برای عمق 10cm و اشعه با انرژی 6mv:
$$PDD = \frac{80}{180} \times 100 = 44\%$$

الگوی تغییر به میزان اشعه بستگی ندارد به عنوان مثال درصد کاهش اشعه 200cGy و 180cGy یکسان است

پس به عنوان مثال بیان می شود برای انرژی 6mv در عمق 10cm در صد دوز عمقی 44 درصد است .

به این ترتیب ما برای یک مقدار انرژی الگوی تغییر را محاسبه می کنیم و نسبت کاهش آن را برای دیگر انرژی ها استفاده می کنیم پس مفهوم دوز عمقی این است که وقتی که پرتو در عمق

نفوذ می کند هر عمق چند درصد دوز نسبت به دوز حداکثر دریافت می کند و در واقع جدول هایی وجود دارد که این مطلب را بیان می کند .

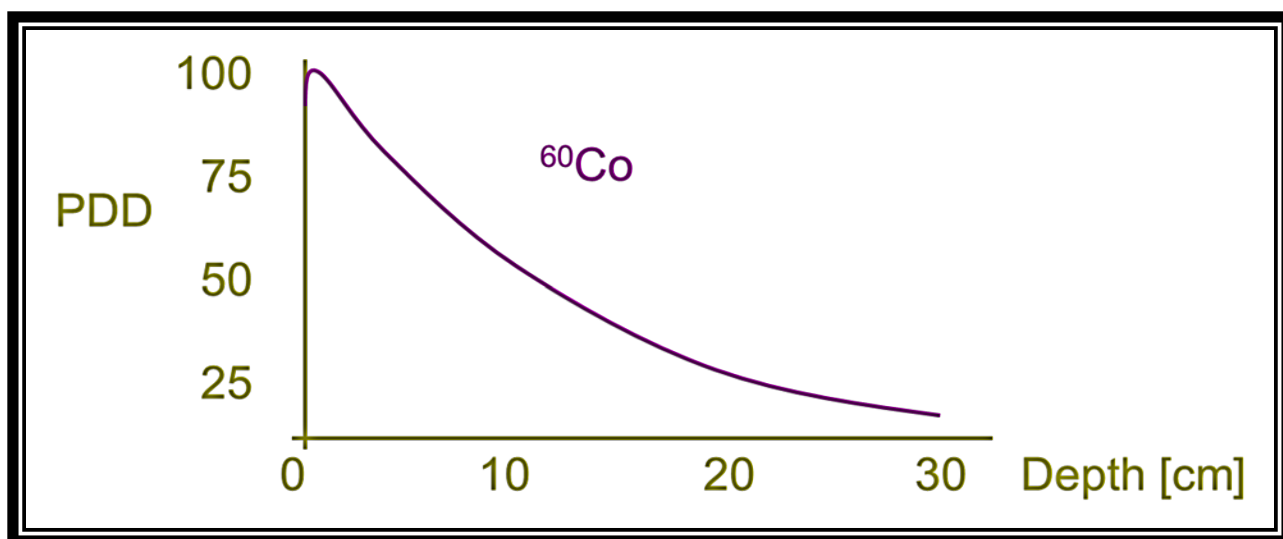
اینکه دوز در عمق چگونه تغییر می کند به مقدار انرژی و جنس ماده نیز بستگی دارد عامل دیگری که روی دوز اثر می گذارد فیلد سائز (ابعاد میدان) است چون همواره تعدادی فوتون از اطراف محور مرکزی بر روی محور مرکزی تأثیر می گذارد . پس آن را هم در درصد دوز عمقی اثر می دهند .

پس اگر دوز در هر عمق را تقسیم بر حداکثر دوز کنیم و در 100 ضرب نمائیم درصد دوز عمقی بدست می آید .

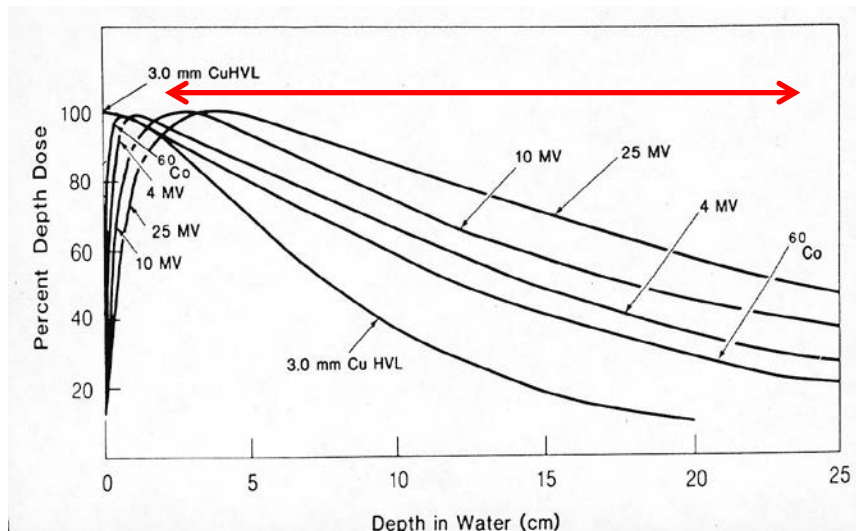
Percentage Depth dose %(PDD)

- Percentage of absorbed dose at any depth “d” to the absorbed dose at a fix reference depth “d₀”

$$P = \frac{D_d}{D_{d_0}} \times 100$$



PDD for High Energy Photon Beams

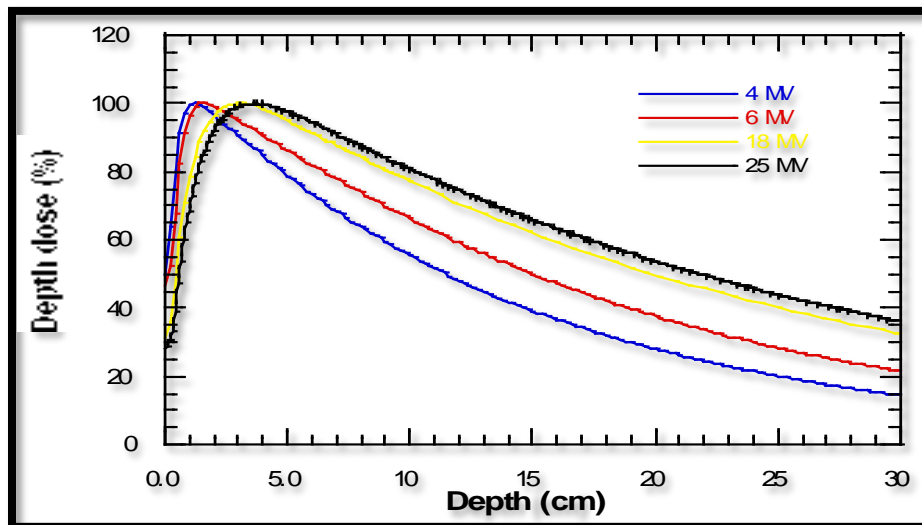


بستگی به انرژی :

هر چه انرژی بیشتر باشد عمق بیلد آپ بیشتر است چون الکترونها باید فاصله بیشتری را طی کنند تا انرژی خود را واگذار نمایند پرتوهای با انرژی های بالاتر انرژی خود را در عمق بیشتری واگذار می کند چون کمتر جذب و کمتر تضعیف می شود .

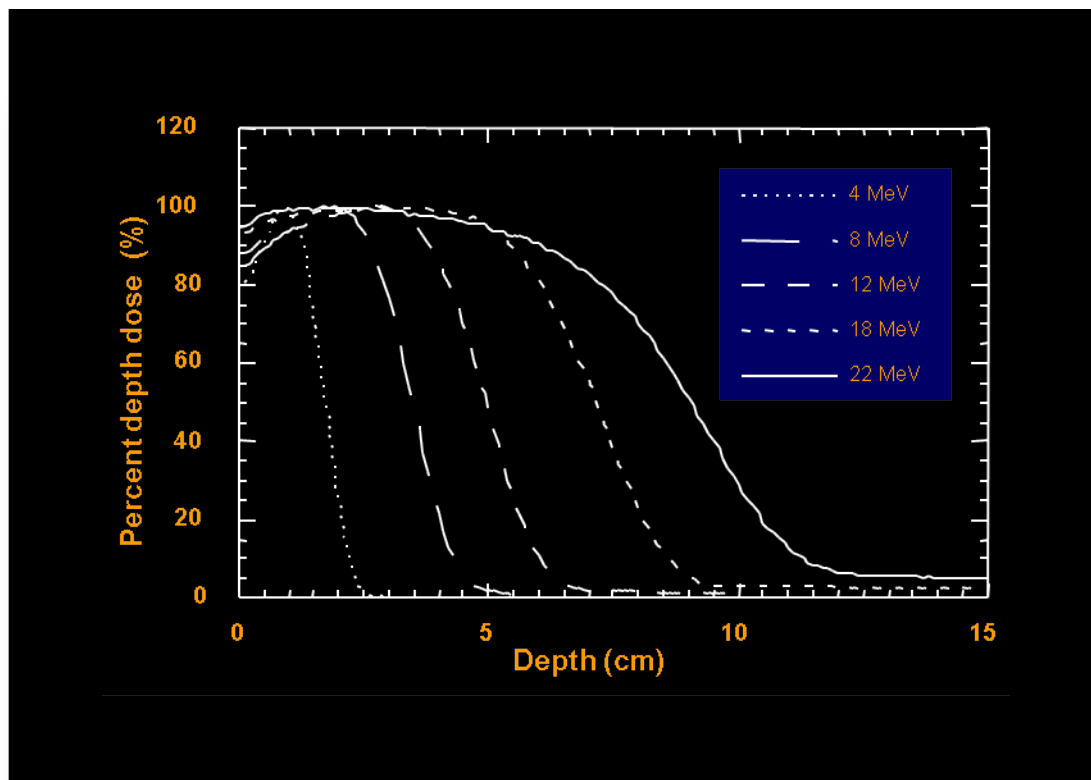
در بیماری چاق با توموری در عمق ————— انرژی بالا استفاده می شود چون انرژیهای بالاتر در عمق های کم کمتر تضعیف می شوند .

به عنوان مثال برای مریضی که توموری در عمق 30cm دارد و با توجه به اینکه در این عمق برای انرژی 20,4mv درصد انرژی دوز گرفته می شود اگر بخواهیم 100cGy به عمق 30cm برسد باید دوز حداکثر حدود 500cGy باشد حال اگر انرژی ما 18mv باشد در عمق 30cm، 50% انرژی دوز گرفته می شود پس برای اینکه به عمق 30cm، 100cGy دوز برسد باید دوز حداکثر 200cGy باشد.



بیم الکترونی :

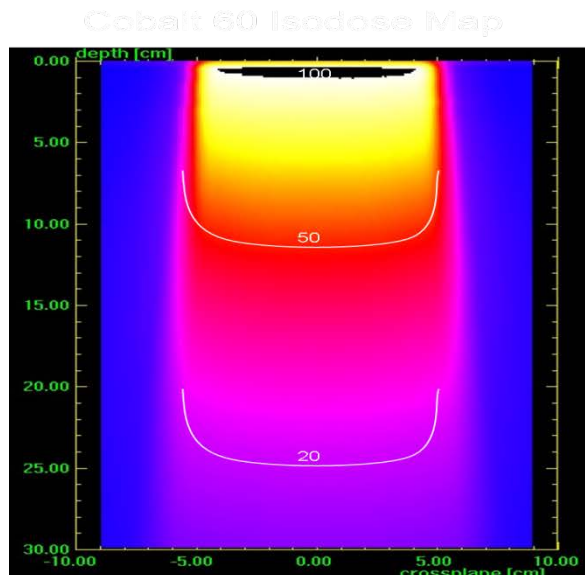
چون ما برای دسته الکترون بیلد آپ نداریم و به دلیل اینکه الکترون از همان ابتدا شروع به واگذار کردن الکترون می کند، تقریباً در سطح، حداکثر دوز را داریم پس بهتر است برای درمان تومورهای سطحی از الکترون استفاده کنیم. همچنین مانند فوتون، پرتوهای پر انرژی تر، انرژی آنها را در عمق های بیشتر واگذار می کنند.



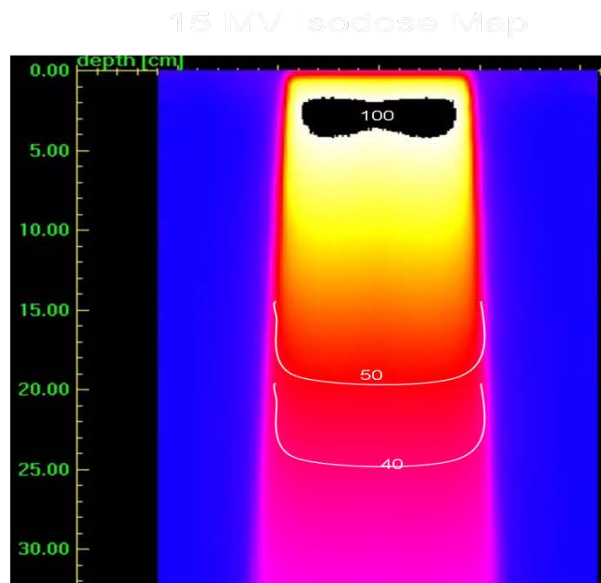
تفاوت پرتوهای فوتونی و الکترونی :

پرتوهای فوتونی انرژی خود را در عمق بیشتری واگذار می کنند اما پرتوهای الکترونی (به دلیل برهم کنش های زیاد) انرژی خود را در عمق های کم تری واگذار می کند و به سرعت انرژی خود را از دست می دهد (برد الکترون کوتاه است) از این رو برای درمان تومورهای سطحی مناسب اند. همچنین پرتوهای فوتونی بیلد آپ دارند که پرتوهای الکترونی ندارند.

Cobalt 60 Isodose Map



15 MV Isodose Map



تفاوت این شکل با منحنی درصد دوز عمقی این است که در این شکل فیلد سایز نیز در نظر گرفته شده است. نام این منحنی ها Isodose است که به این معناست که تمام نقاط روی خط 50% را دریافت می کند.

چرا گوشه های منحنی بالا رفته ؟ به دلیل اینکه در این منحنی ها ما اطراف محور مرکزی را نیز بررسی می کنیم و این بالارفتن منحنی مربوط به اطراف محور مرکزی است و به این گوشه ها نیم سایه می گویند.

مقایسه کبالت با 15mv: عمق بیلد آپ در 15mv بیشتر است. 15mv انرژی خود را در عمق بیشتر و اگذار می کند (پرتو هایی با انرژی بیشتر انرژی خود را در عمق های بیشتری و اگذار می کند)

برهم کنش فوتونی به انرژی و Z (عدد اتمی) بستگی دارد.

Photon Interactions with Matter depend on E and Z

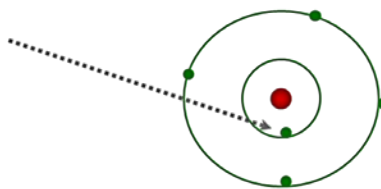
فوتو الکتریک (Photoelectric effect (τ): فوتون به الکترون لایه آخر برخورد می کند و آن را می پراند فوتون همه انرژی خود را به الکترون می دهد و انرژی الکترون برابر انرژی فوتون منهای انرژی بستگی می باشد فوتو الکتریک با Z^3 متناسب است.

به پرتو با انرژی 40kv تا 150kv پرتو orthovoltage می گویند که در این محدوده فوتو الکتریک بسیار مهم و برجسته است و همچنین در این محدوده بیلد آپ نداریم.

توضیح شکل : این شکل مقایسه درصد دوز عمقی پرتو orthovoltage در حالت بافت نرم و بافت نرم همراه با بافت استخوانی است (قبلا سؤال امتحانی بوده). منحنی تیره حالتی را نشان می دهند که تمام عمق، بافت نرم فرض شده است که یک منحنی درصد دوز عمقی ساده است و چون انرژی آن کم است بیلد آپ ندارد اما در منحنی خط چین بافت مختلف در عمق در نظر گرفته شده است.

در ابتدا هر دو منحنی به دلیل بافت نرم بودن یکسان است اما در استخوان، در منحنی خط چین درصد دوز عمقی افزایش می یابد. چون در اینجا فوتو الکتریک اتفاق می افتد و فوتو الکتریک با Z^3 متناسب است و چون Z استخوان از بافت نرم بیشتر است جذب در استخوان افزایش می یابد و منحنی بالا می رود اما بعد از استخوان و در بافت نرم درصد دوز عمقی کاهش می یابد. چون در استخوان جذب زیاد بوده و استخوان نقش یک مانعی که ایجاد سایه می کند را دارد. بنابراین در این منحنی جذب زیاد در استخوان و سایه بعد از آن داریم.

Photoelectric Effect



Process: Photon absorption by bound K, L, or M shell electrons.

Result: Photoelectron emerges with

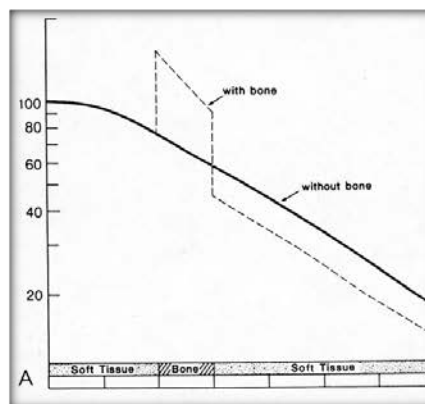
$$E = h\nu - E_{\text{binding}},$$

Comments:

- $\tau = 1/(h\nu)^3$: inversely proportional to Energy
- $\tau/\rho = Z^3$: very dependent on Z
- $E_{\text{tr}} = E_{\text{ab}}$, no bremsstrahlung

Important at low energies and high Z

PDD of Orthovoltage Beam



کامپتون (Compton Effect (σ):

اثر کامپتون به Z بستگی ندارد پس در عکس هایی که با انرژی محدوده کامپتون گرفته می شود تفکیک به شدت پایین است (اثر کامپتون در پرتال imaging برای set up در chekup مریض استفاده می شود)

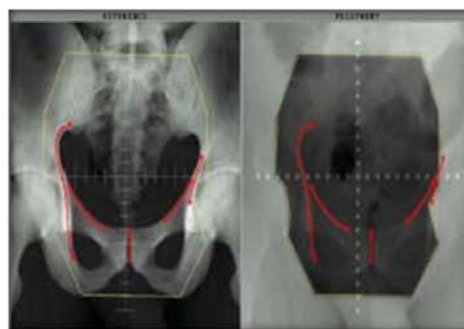
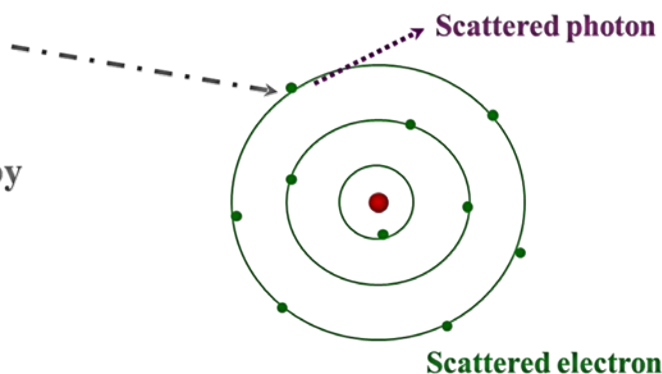
در کامپتون فوتون به الکترون لایه آخر برخورد می کند و یک اسکتر ساطع می کند پس کل انرژی به الکترون منتقل نمی شود .

Compton Effect

Process: Incoherent scattering by free or nearly free electrons.

Comments:

1. Probability decreases with increase in energy
2. Independent of Z
3. Some energy is scattered, some is transferred
4. The fraction of energy transferred to electrons increases with increasing photon energy.



Photoelectric vs Compton

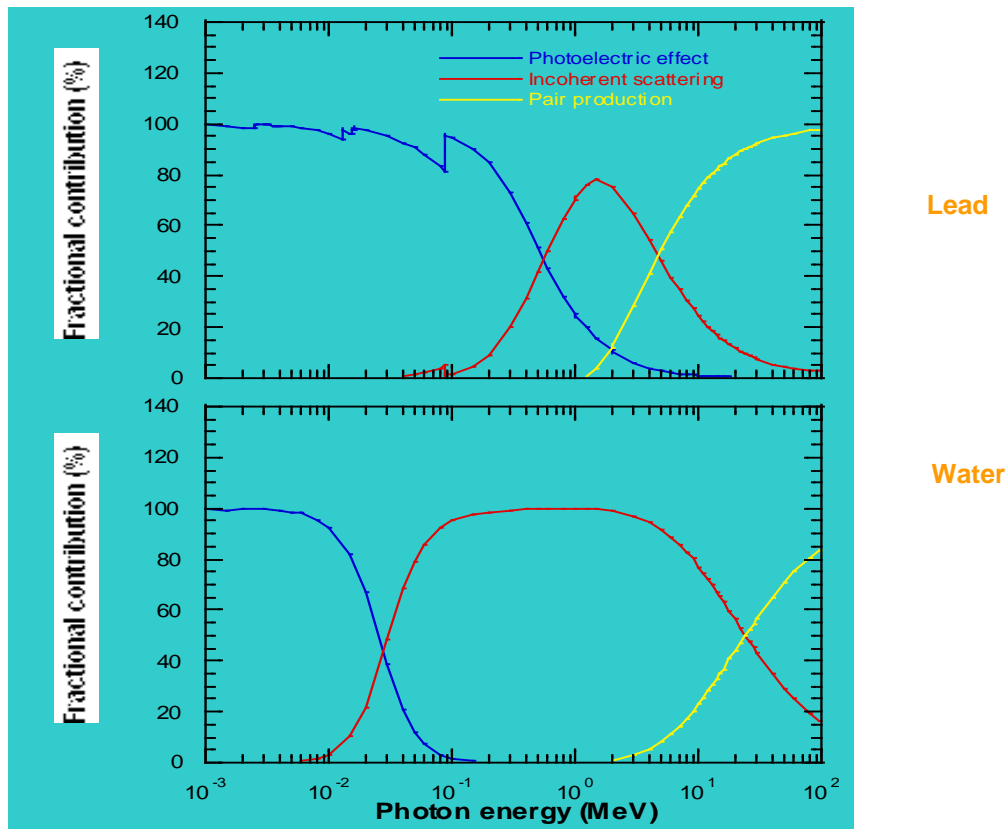
تولید جفت (κ) Pair Production :

یک فوتون در مجاورت هسته ازمین می رود و به یک الکترون و یک پوزیترون تبدیل می شود . تولید جفت به Z بستگی دارد و انرژی حداقل آن 1.25mev است .

نابودی جفت :

یک الکترون و یک پوزیترون در مجاورت هم قرار گرفته و نابودی می شود و دو فوتون در جهت عکس هم تولید می شود.

در سرب سهم فوتو الکتریک و تولید جفت زیاد است و سهم کامپتون کم است برعکس آب که سهم کامپتون زیاد است چون فوتو الکتریک و تولید جفت متناسب با Z است .



ماهایی که داریم حاصل جمع جذب های فوتو الکتریک و کامپتون و تولید جفت است .

Mass Attenuation Coefficient:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\kappa}{\rho}$$

Mass Energy Transfer Coefficient:

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{\tau_{tr}}{\rho} + \frac{\sigma_{tr}}{\rho} + \frac{\kappa_{tr}}{\rho}$$

Mass Energy Absorption Coefficient:

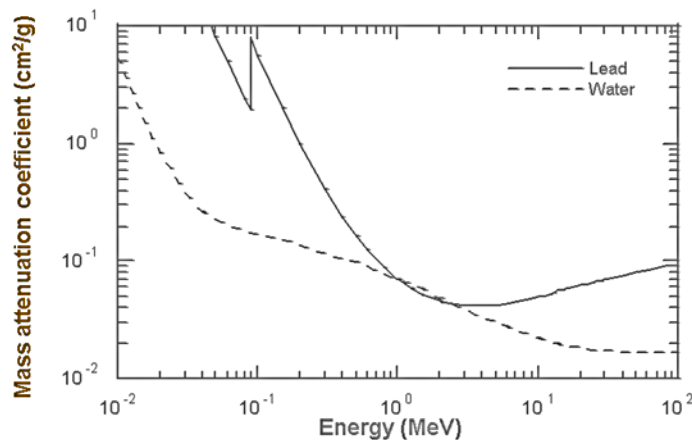
$$\frac{\mu_{ab}}{\rho} = \frac{\tau_{ab}}{\rho} + \frac{\sigma_{ab}}{\rho} + \frac{\kappa_{ab}}{\rho}$$

Attenuation Coefficients

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa$$

در محدوده فوتو الکتریک جذب سرب بیشتر است بدلیل اینکه فوتو الکتریک با Z متناسب است و در محدوده کامپتون هر دو منحنی به هم نزدیک می شوند به دلیل عدم بستگی کامپتون به Z و با در مرحله تولید جفت جذب سرب بیشتر است به دلیل متناسب بودن تولید جفت با Z .

Determines dose in a medium



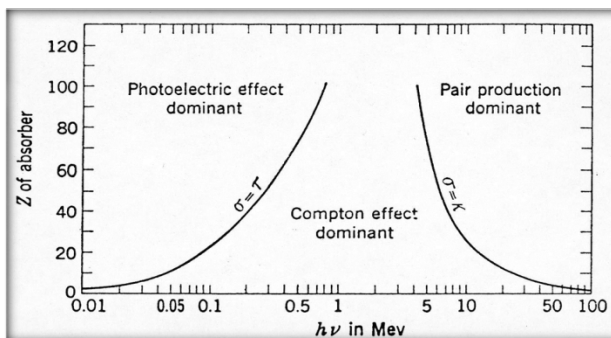
بنابراین هنگامی که پرتو وارد ماده می شود با توجه به انرژی و اینکه در آن انرژی چه برهم کنشی مهمتر است میزان جذب تغییر می کند .

Photon Interactions with Matter

1. Photoelectric effect (τ)
2. Compton Effect (σ)
3. Pair Production (κ)
4. Photo-disintegration

Attenuation Coefficients

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa$$



Evans, 1955

رادیولوژی 89 دانشگاه علوم پزشکی تهران

