

# جلسه سوم

به نام خدا

■ در جلسه های پیش راجع به  $\text{Energy Fluence}$ ,  $\text{Fluence}$  و  $\text{Exposure}$  صحبت شد و امروز راجع به  $\text{Dose}$  و  $\text{Kerma}$  صحبت می کنیم .

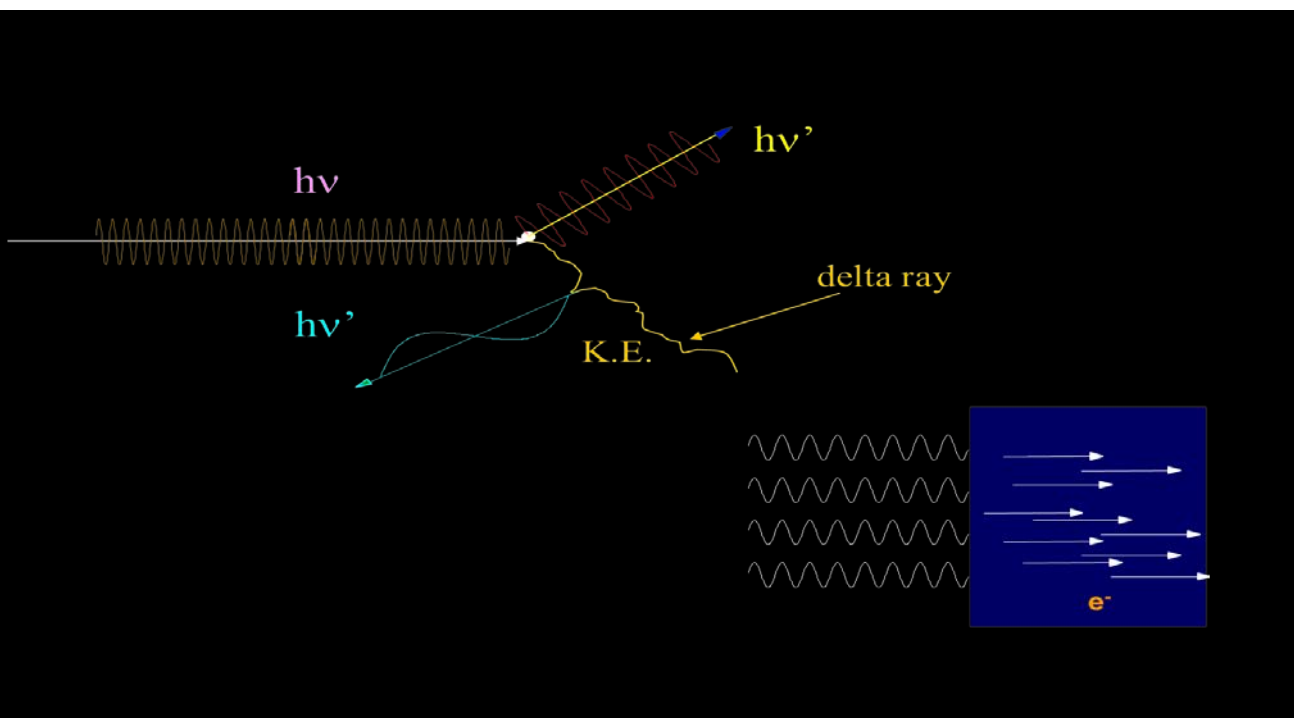
■  $\text{Exposure}$  سه محدودیت دارد :

- 1- فقط در هوا تعریف می شود .  
Air only
- 2- در انرژیهای زیر  $3 \text{ MeV}$  کاربرد دارد .  
Energies less than  $3 \text{ MeV}$  practice
- 3- فقط برای فوتون تعریف می شود .  
Photons only

این محدودیت ها سبب شد که به فکر ناکافی بودن تعریف  $\text{Exposure}$  بیافتیم . پس ما نیاز به تعریف کمیتی برای محیط ها ، همه انرژیهای و همه نوع پرتو داریم . که ما را به تعریف  $\text{Dose}$  و  $\text{Kerma}$  می رساند .

وقتی اشعه ایکس با ماده برهم کنش نشان می دهد چه اتفاقی می افتد ؟

What happens when x rays interact with matter? •



# جـ لسه سوم

توضیح شکل : فوتون پس از برخورد با ماده مقداری از انرژی خود را به ماده منتقل می کند و خود فوتون نیز با انرژی کمتر پراکنده می گردد و این انتقال انرژی سبب جدا شدن الکترون از ماده می گردد ( کامپتون )

یادآوری :

روشهای انتقال انرژی از فوتون

- 1- فوتو الکتریک : تولید الکترون
- 2- کامپتون : تولید الکترون + ساطع شدن فوتون با انرژی کمتر
- 3- تولید جفت : فوتون در میدان هسته به یک جفت الکترون و پوزیترون تبدیل می شود .

الکترون پس از جدا شدن از ماده با همان مقدار انرژی جنبشی که از فوتون گرفته به صورت نامنظم در محیط حرکت می کند . از آنجائیکه انرژی لازم برای یک یونیزاسیون در هوا 33 MeV است

پس بنابراین اگر انرژی جنبشی الکترون جدا شده از ماده 100 MeV باشد باید الکترون  $3 \times 10^5$  یونیزاسیون ( یونیزاسیون : برخورد الکترون با الکترون اتم های دیگر و انتقال انرژی به آنها و در نتیجه جدا کردن آن الکترون ها از اتم ) در مسیر حرکت خود انجام دهد تا همه انرژی خود را از دست داده و در نهایت با انجام آخرین یونیزاسیون جذب شود . البته الکترون از راههای دیگری نیز می تواند انرژی خود را از دست بدهد ( مانند برام اشترا لانگ ) و نیازی نیست این از دست دادن انرژی تنها به صورت یونیزاسیون باشد . این الکترون در مسیر حرکت با هر یونیزاسیون ( برخورد با اتم دیگر و خارج کردن الکترونی از آن ) یک الکترون ثانویه تولید می کند که به این الکترونهای ثانویه اشعه دلتا، delta ray گفته می شود. باید توجه داشت که اشعه دلتا از جنس الکترون است نه فوتون.

این نکته حائز اهمیت است که فقط انرژی الکترونهایی که یونیزاسیون انجام می دهند جذب محیط می شود و انرژی فوتون هایی که از محیط خارج می شوند جذب نمی شود .

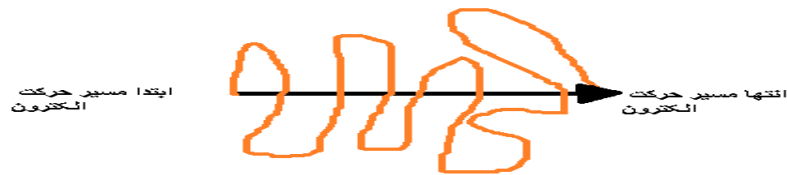
الکترون در سراسر حجم ( محیط ) به حرکت در می آید و این الکترونهای با انرژی های متغیر ، انرژی خود را به جای دیگر منتقل می کنند.

Electrons are set in motion throughout volume. •

These electrons, of varied energies, transport their energy *elsewhere* •

یادآوری: مسیر حرکت الکترون مستقیم نیست.

# جاسه سوم



پس ما در این شکل دو مرحله داریم :

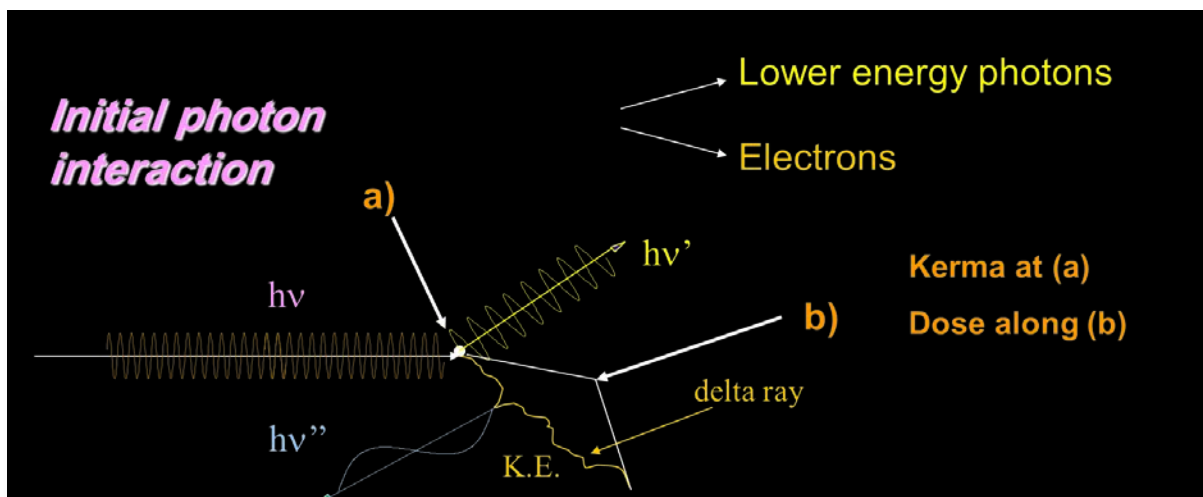
1- انتقال انرژی از فوتون به الکترون از طریق کامپتون a:

2- انتقال انرژی از الکترون به محیط از طریق یونیزاسیون b:

Step 1: Transfer of energy from photons to electrons (kerma)

Step 2: Transfer of energy from electrons to materials (dose)

در نقطه (a), kerma اتفاق می افتد . که فوتون انرژی خود را به الکترون منتقل می کند و در محدوده (b) که الکترون با حرکت نا منظم انرژی خود را به ماده ( محیط ) واگذار می کند dose اتفاق می افتد . در واقع ما در محاسبات بیشتر از dose استفاده می کنیم . چون میزان انرژی منتقل شده به ماده برای ما اهمیت دارد .



Kerma مخفف انرژی جنبشی آزاد شده در واحد جرم است.

# جاسه سوم

تعريف kerma : میزان کمی، مقدار متوسط انرژی که در یک حجم کوچک از یک اشعه یونیزان غیر مستقیم (فوتون) به یونیزان مستقیم (ذرات باردار مانند الکترون) منتقل می شوند. ( انرژی متوسطی که در واحد جرم از فوتون به الکترون داده می شود )

kerma یک کمیتی است که کاربرد آن در یونیزان غیر مستقیم است پس kerma برای یونیزان غیر مستقیم مانند فوتون و نوترون تعریف می شود چون یونیزان غیر مستقیم خودش بطور مستقیم نمی تواند وارد عمل شود و انرژی خود را به محیط دهد، باید انرژی خود را به الکترون منتقل کند و سپس الکترون انرژی را به محیط می دهد .

$$K = \frac{d\bar{E}_{tr}}{dm}$$

واحد. kerma. :  $J \cdot Kg^{-1}$  است که Gray نامیده میشود.

KERMA is an acronym for Kinetic Energy Released per unit Mass. It is a measure of the amount of energy transferred from non-ionising radiation (photons and neutrons) into ionising radiation (electrons, protons,  $\alpha$ -particles and heavy ions).

The unit of kerma is  $J \cdot Kg^{-1}$  and is called the Gray.

## 2.4.1 Kerma

- ❑ Kerma is an acronym for Kinetic Energy Released per unit Mass.
- ❑ It quantifies the average amount of energy transferred in a small volume from the indirectly ionizing radiation to directly ionizing radiation without concerns to what happens after this transfer.

$$K = \frac{d\bar{E}_{tr}}{dm}$$

- ❑ The unit of kerma is joule per kilogram (J/kg).
- ❑ The name for the unit of kerma is the gray (Gy), where  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ .
- ❑ Kerma is a quantity applicable to indirectly ionizing radiations, such as photons and neutrons.

انرژی که از فوتون به الکترون منتقل می شود به دو روش مجزا مصرف می شود .

1-از طریق برخورد (برخورد سخت با انتقال انرژی بالا یا برخورد نرم با انتقال انرژی پایین )

2-از طریق برهم کنش های تابشی (مانندبرام اشتراک لایه و نابودی جفت )

# جاسه سوم

یادآوری :

نابودی جفت : هنگامی که الکترون در کنار پوزیتون قرار می گیرد می تواند هر دو از بین برود و دو فوتون در جهت عکس هم ساطع شود .



kerma به دو بخش تقسیم می شود :

1- kerma collision برخوردی : انرژی که به الکترون منتقل می شود .

2- kerma radiation تابشی : انرژی که به فوتون منتقل می شود و از محیط خارج میشود.

$$K = K_{col} + K_{rad}$$

## 2.4.1 Kerma

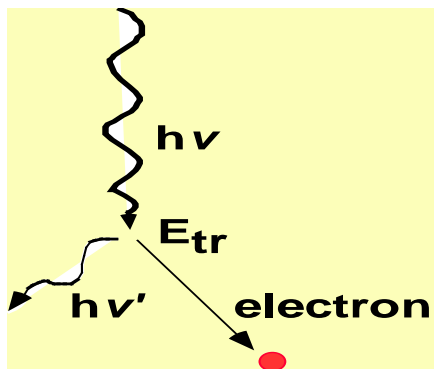
- The energy transferred to electrons by photons can be expended in two distinct ways:
  - through collision interactions (soft collisions and hard collisions);
  - through radiation interactions (bremsstrahlung and electron–positron annihilation).
- The total kerma is therefore divided into two components:
  - Collision kerma  $K_{col}$
  - Radiation kerma  $K_{rad}$ .

$$K = K_{col} + K_{rad}$$

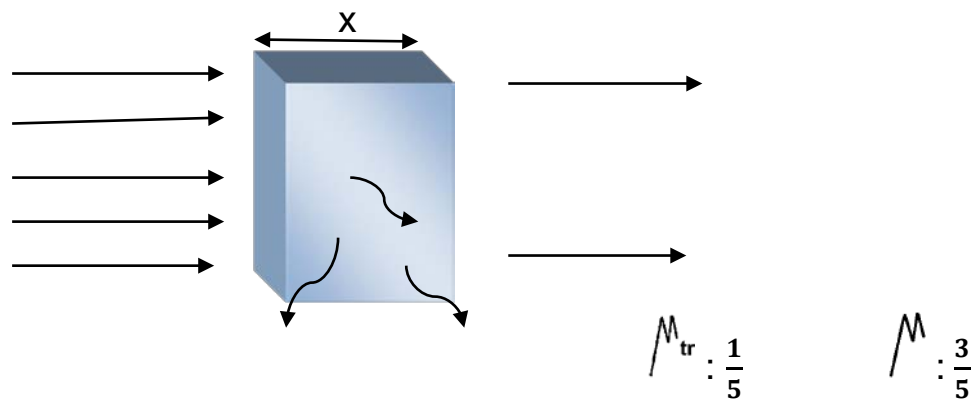
متوسط انرژی منتقل شده ( $E_{tr}$ ) : کسری از انرژی فوتون که به صورت انرژی جنبشی ذرات باردار در واحد جرم ماده جاذب منتقل می شود .

The fraction of photon energy transferred to kinetic energy of charged particles per unit thickness of absorber

## جاسه سوم



$$\mu_{tr} = (E_{tr} / h\nu) \mu$$



$M$  یا ضریب جذب : کسری از فوتون هایی که پس از عبور از ضخامت  $x$  از دسته فوتون های اصلی برداشته می شود .

$M_{tr}$  : کسری از فوتون های که پس از عبور از ضخامت  $x$  به واسطه انتقال انرژی به ماده از دست پرتو اصلی برداشته می شود .

در  $M$  کاهش فوتون ها می تواند به هر دلیلی باشد (مانند : انتقال انرژی ، تبدیل به اسکتر ، جذب و.....) امادر  $M_{tr}$  کاهش فوتونها فقط بواسطه انتقال انرژی فوتون به ماده و نابودی فوتون می باشد. انرژی که از طریق الکترون منتقل می شود ، انرژی است که جذب می شود .

Dose از انرژی جذب شده در واحد جرم بدست می آید .

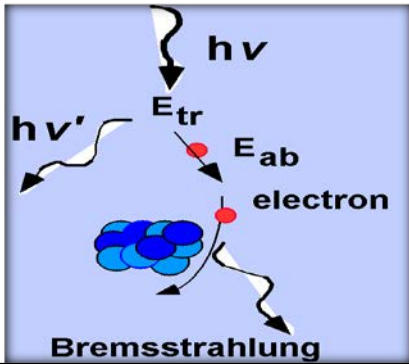
توضیح شکل :

## جاسه سوم

فوتون پس از برخورد، انرژی خود را به محیط منتقل می کند که بخشی از این انرژی از محیط خارج می شود (فوتون)  $kerma$  تابشی نام دارد که برای ما مهم نیست و انرژی باقی مانده به الکترون منتقل می شود که به آن  $kerma$  برخوردی می گویند.

گاهی همه انرژی الکترون جذب محیط نمی شود و مقداری از آن با عبور از نزدیکی هسته یک اتم و تابش برام اشتراک از محیط خارج می شود، آن بخش از انرژی الکترون که از طریق یونیزاسیون جذب محیط می شود را  $Dose$  می نامند.

**Average Energy Absorbed:  $\bar{E}_{ab}$**



- The fraction of photon energy that is locally absorbed
- Subtract off the bremsstrahlung component

$$\mu_{ab} = (E_{ab} / hv) \mu$$

$$\mu_{ab} = (E_{ab} / hv) \mu$$

واحد  $Kerma$  و  $dose = J \cdot Kg^{-1}$  است که  $Gray$  نامیده میشود.

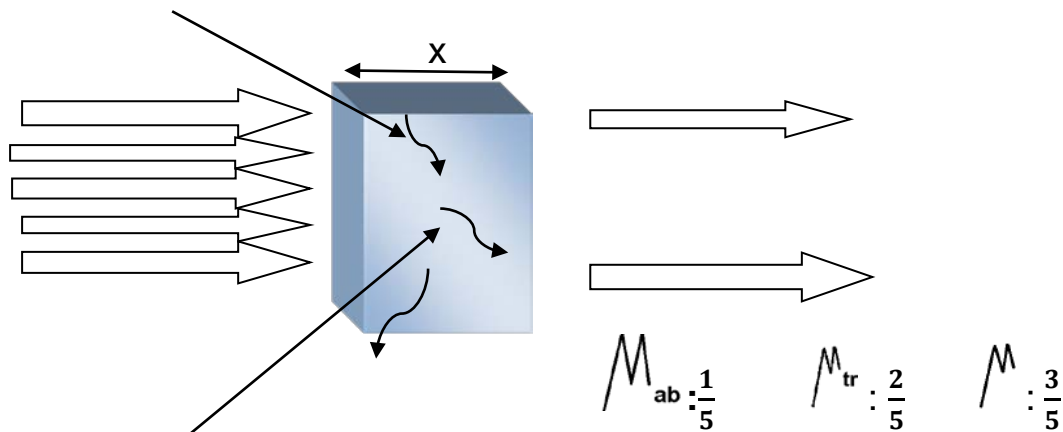
$h\nu$  ← Kerma radiation: از محیط خارج میشود  
 ← Kerma collision: به الکترون منتقل میشود ← مقداری از محیط خارج میشود  
 ← مقداری جذب محیط میشود و در محیط تغییر ایجاد میکند ( $E_{ab}$ )

$M_{ab}$ : کسری از فوتون ها که به واسطه جذب انرژی در ماده از دست فوتون های اصلی برداشته می شوند.

در  $M$  کاهش فوتون فقط باید به دلیل انتقال انرژی باشد پس بنابراین فوتون پس از انتقال انرژی می تواند در محیط جذب و یا از آن خارج شود ولی در  $M_{ab}$  کاهش فوتون فقط باید به دلیل جذب در محیط باشد یعنی فوتون پس از انتقال انرژی خود به محیط در محیط جذب شود.

## جاسه سوم

انرژی خود را به محیط داده و جذب محیط شده



انرژی خود را به محیط داده و بوسیله ای از محیط خارج شده

تعادل الکترون : مفهوم کلی

وقتی که تعداد الکترونهايي که در یک حجم تولید می شوند با الکترونهايي که در آن حجم جذب می شوند برابر باشند می گویند در آن حجم تعادل الکترونی برقرار است . اما چون در واقع این حجم انتخاب شده یک حجم محصور نیست مانند حجم قسمتی از بدن انسان ، پس در نهایت مقداری از الکترون های تولید شده در این حجم در خارج از آن جذب می شود و مقداری از انرژی های تولید شده در خارج این حجم در داخل این حجم جذب می شوند پس می توان تعریف تعادل الکترونی را اینگونه بیان کرد .

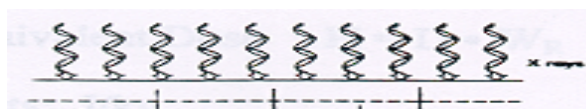
تعادل الکترونی :

اگر تعداد الکترونهايي که در داخل یک حجم معین تولید می شوند و در خارج آن جذب می شوند با تعداد الکترونهايي که در خارج آن حجم تولید و در داخل آن جذب می شود برابر باشد می گویند تعادل الکترونی برقرار است .

توضیح شکل :

یک دسته فوتون با سطح یک ماده برخورد می کند و تعدادی الکترون در عمق های مختلف تولید می کند . ابتدای فلش ها بیانگر جایی است که الکترون تولید شده و انتهای آنها بیانگر جایی است که الکترون جذب شده .

همانطور که در شکل پیداست در سطح سوم سه الکترون تولید شده و هیچ الکترونی جذب نمی شود . پس تعادل الکترونی برقرار نیست . اما در سطح دهم سه الکترون تولید شده و از این محدوده خارج می شود تا در جایی دیگر جذب شود و سه الکترون که در جایی دیگر تولید شده است در این محدوده





## جـ لسه سوم

جذب می شود . پس در این محدوده تعادل الکترونی داریم . در شرایط تعادل تعداد فلش هایی که شروع می شود و فلش هایی که تمام می شوند برابر است .

در واقعیت :

- 1- مسیر الکترونها مستقیم نیست .
- 2- طول مسیر الکترونها یکسان نیست .
- 3- تعداد متناسب با عمق کم می شود (هم تعداد فوتون ها و هم تعداد الکترونها با افزایش عمق کم می شود )

جاسه سوم

