

به نام خدا

جذب و پراکندگی اشعه ایکس در بافت

منابع :

- ❑ کتاب راه فیزیک پزشکی : فصل 4
- ❑ پاورپوینت و مطالب استاد مربوطه
- ❑ کتاب کمک آموزشی : کتاب فیزیک پزشکی عقابیان

موضوع:

✓ بر هم کنش (برخورد) اشعه ایکس با ماده

1- پراکندگی همدوس (الاستیک)

2- اثر فتوالکتریک

3- پراکندگی کمپتون (غیر الاستیک)

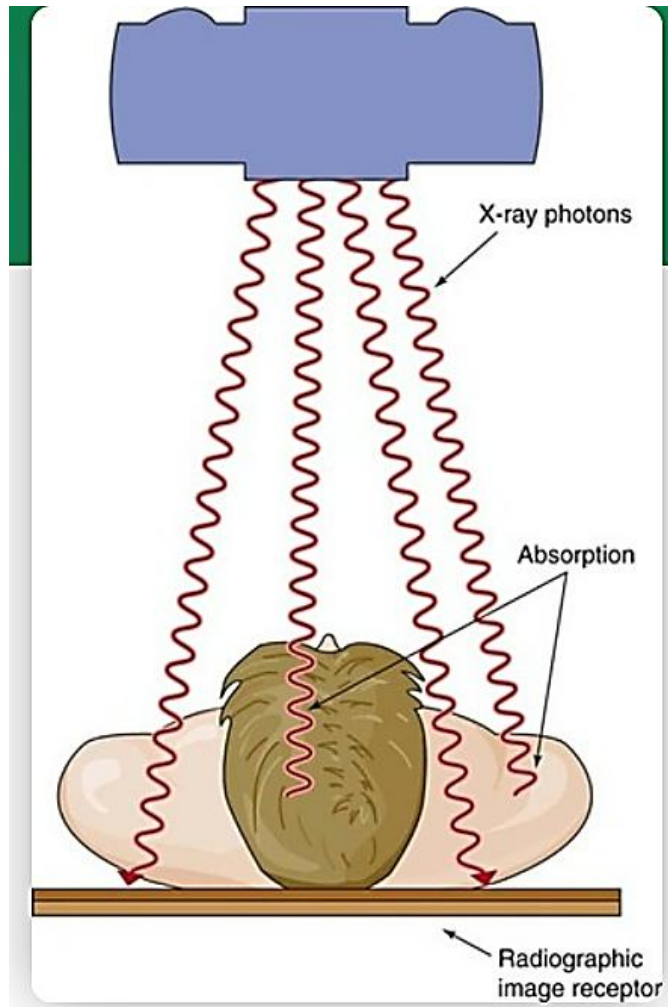
4- تولید جفت

5- تجزیه توسط فوتون

✓ ضریب کاهش نمایی اشعه ایکس

اهداف ؛ اهمیت موضوع و کاربرد محتوای درس:

نحوه ارزیابی: کوییز- امتحان - حضور و غیاب



X-Ray Interaction with Matter

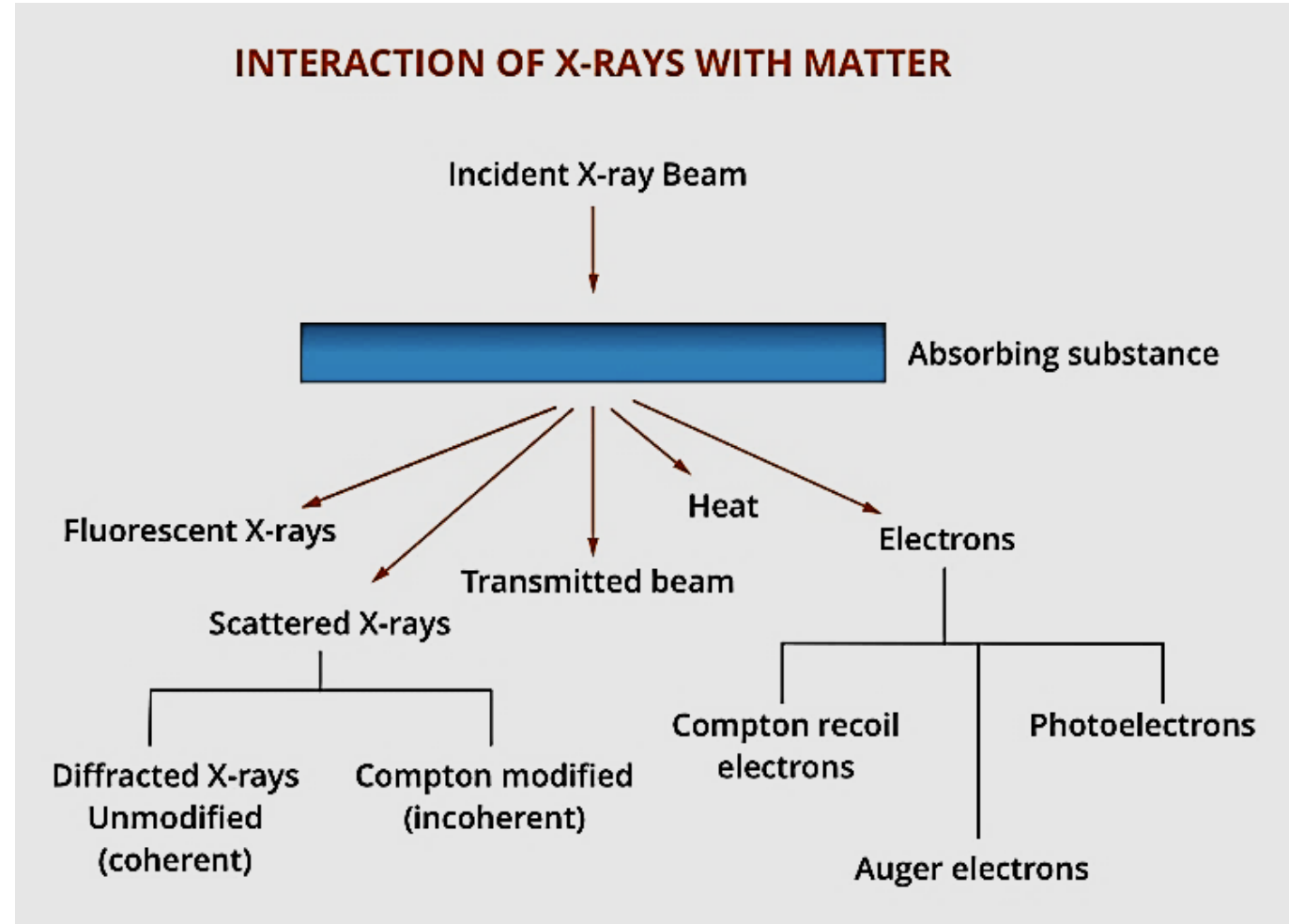
The topic of my presentation is

Objective:

- ✓ Five X-Ray Interaction with Matter
- ✓ Exponential attenuation law of Photons
- ✓ Half Value Layer

X- ray interaction:

X- ray energy in the form of photons :
interacting with tissue
receptor forms the X-ray imaging



بخش سوم: **جذب و پراکندگی اشعه ایکس در بافت** صفحه 165

بر هم کنش (برخورد) اشعه ایکس با ماده

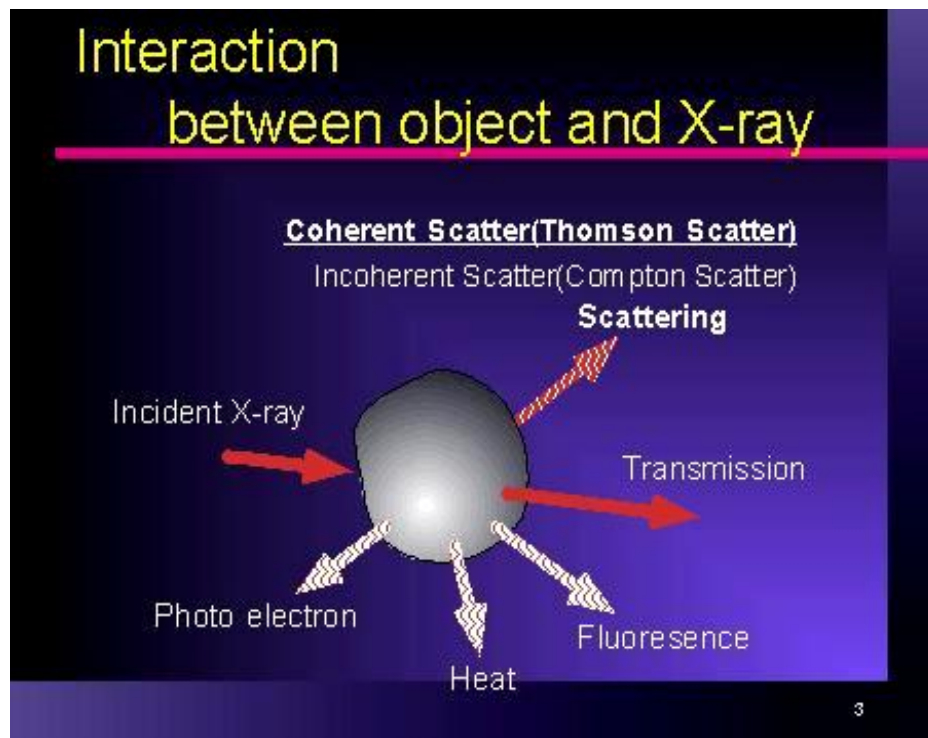
نتیجه اثرات تابش پرتو در ماده (بافت بدن): جذب انرژی در ماده و یونیزاسیون و یا تحریک اتم ها

1- واردن شدن یک دسته پرتو اشعه با انرژیهای متفاوت (پلی کروماتیک) به درون بدن بیمار

2- خارج شدن آنها بر اثر تضعیف با توضیعی کاملاً غیر یکنواخت از بدن
فرایندها:

جذب فوتونها: باعث حذف کامل آنها از دسته پرتوهای ایکس می شود.
عبور فوتونها: رسیدن به فیلم
پراکندگی فوتونها: منحرف شدن فوتونها از مسیر اولیه و باعث آلودگی فیلم

اهمیت نقش فوتونها در تشکیل تصویر: اهمیت نقش فوتونهای تضعیف شده و فوتونهای عبوری هر دو.
اگر تمام فوتونها عبور میکردند فیلم بطور یکنواخت سیاه در غیر اینصورت سفید میشود.



توجه به فضای خالی اتم: به طور متوسط بیش از 99.99 درصد حجم یک اتم فضای تهی (خالی) است

Photon Phase

Photons : can be **absorbed / scattered / passes**

1- Absorbed:

Absorption: completely removed from beam

Attenuation : Reduction of intensity,

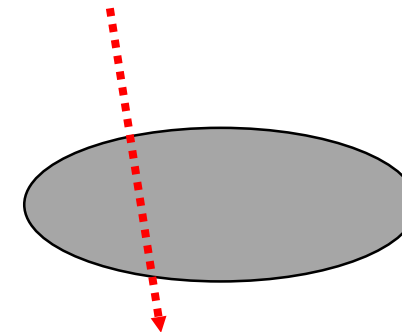
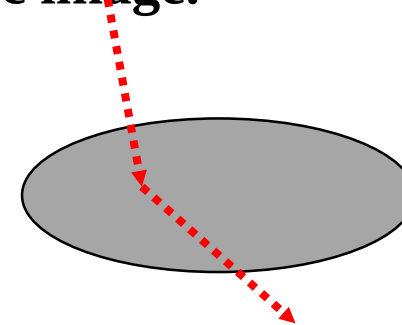
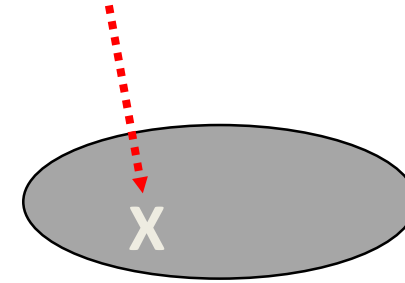
Radiographic image : difference in attenuation gives the radiographic image.

2- Scattered

- change in direction
- no useful information carried
- source of noise

3- Nothing

- Photon passes unmolested



برخوردهای اساسی بین اشعه X و ماده (بافت)

پنج راه اصلی برای برخورد یک فوتون اشعه X با ماده

فرایند کاهش (Attenuation): بستگی به جذب و انحراف (Scatter) فوتونها دارد
یعنی شامل فتوالکتریک، کمپتون، همپوس می‌گردد.

1- پراکندگی همپوس (کلاسیک - الاستیک)

2- اثر فتوالکتریک

3- پراکندگی کمپتون (غیر الاستیک)

4- تولید جفت

5 - تجزیه توسط فوتون

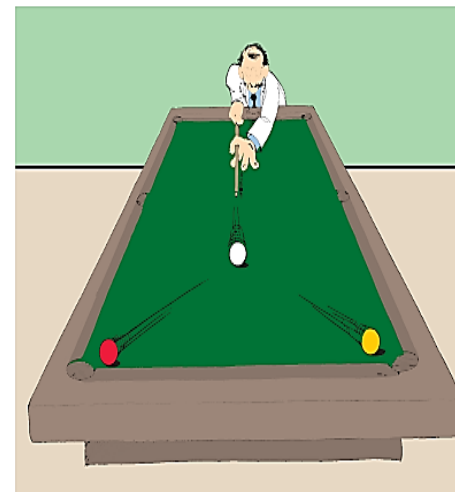
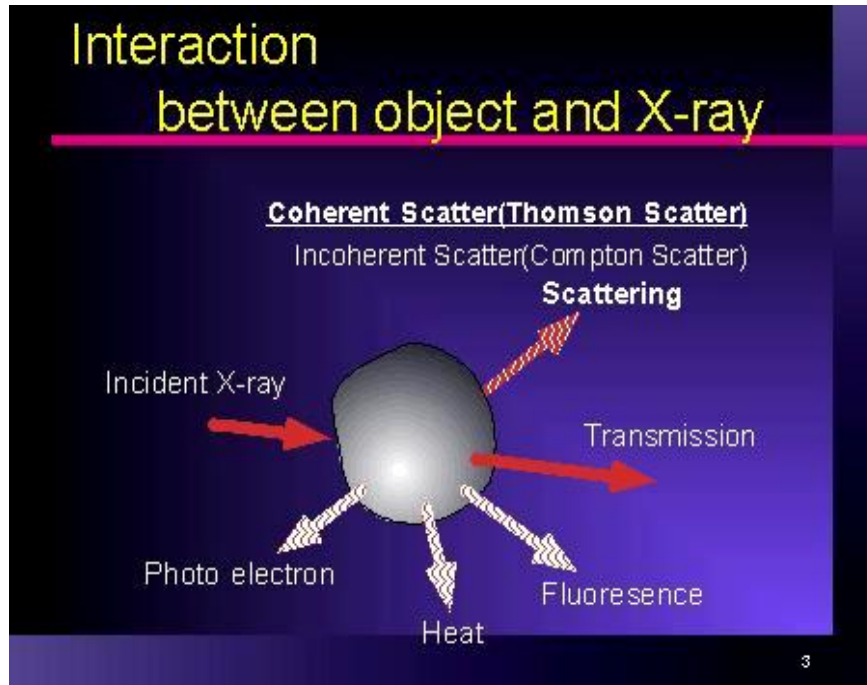
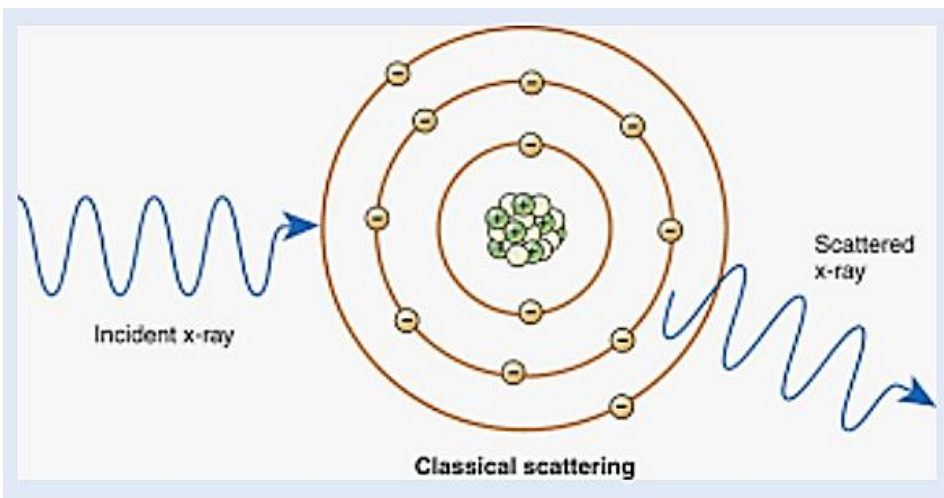


FIGURE 1-15 The conservation of momentum occurs with every billiard shot.

1- پراکندگی همدوس (کلاسیک - الاستیک - ریله - برخورد تامسون):

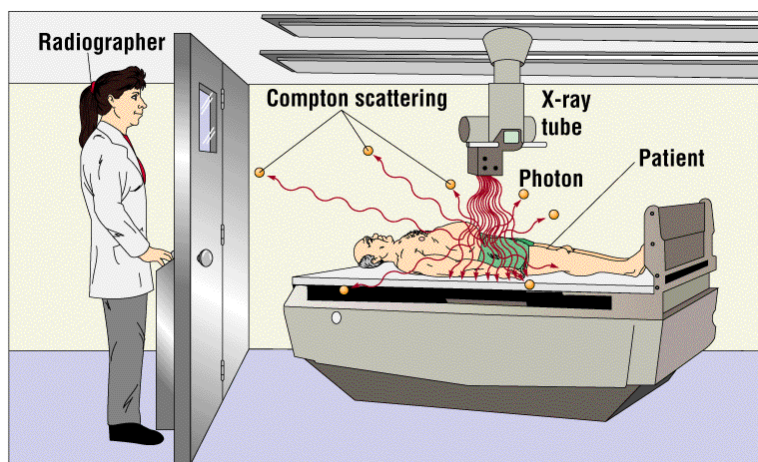
به آن دسته از برخوردها اطلاق می شود که

- بدون ایجاد هر گونه تغییری در طول موج (انرژی) پرتو، فقط جهت آنرا تغییر دهند.
- برخورد فوتون کم انرژی تابشی با یک اتم ماده (بدن) که باعث برانگیختگی اتم میشود.
- اتم هدف فوراً این انرژی اضافی را بصورت یک فوتون ثانویه با طول موج مساوی با فوتون برخوردی آزاد میکند اما در مسیری متفاوت (انحرافی).



مشخصات برخورد همدوس (برخورد تامسون-ریلی) :

- ✓ اشعه ایکس با انرژی کمتر از 10 KeV
- ✓ (در رادیولوژی تشخیصی کم اتفاق می افتد)
- ✓ بدون تغییر در طول موج پرتو، (هیچگونه انرژی انتقال نمی شود).
- ✓ برخورد فوتون با اتم ماده در نتیجه برانگیختگی اتم ماده
- ✓ فقط تغییر جهت پرتو
- ✓ عدم ایجاد یونش در ماده
- ✓ مه آلودگی روی فیلم



COMPTON SCATTERING

1- Coherent scattering (Classical)

Coherent Scattering: Describes what happens when an incident x-ray (λ) interacts with target atoms.

The target atom : becomes **excited** and releases its excess energy as a scattered x-ray (λ')
Equal wavelength ($\lambda = \lambda'$) and therefore equal energy.

The direction: of the scattered x-ray is different from the incident.

What happens in coherent scattering ?

- ❑ Low energy radiation encounters target electrons
- ❑ Electrons are set into vibration
- ❑ Vibrating electron, emits radiation. (λ')
- ❑ Atom returns to its undisturbed state.

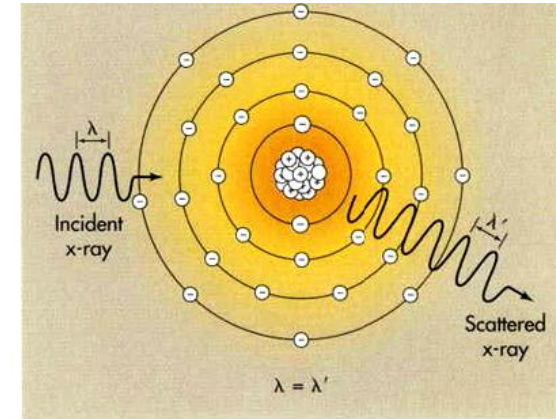
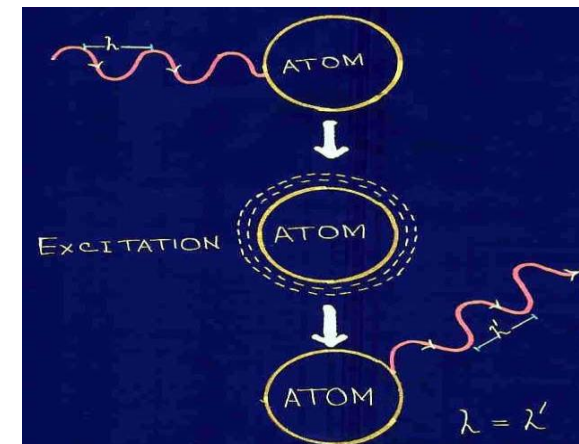


FIGURE 13-1 Coherent scattering is an interaction between low-energy x-rays and atoms. The x-ray loses no energy but changes direction slightly. The wavelength of the incident x-ray is equal to the wavelength of the scattered x-ray.



2- اثر فتوالکتریک (فرایند جذب فوتون)

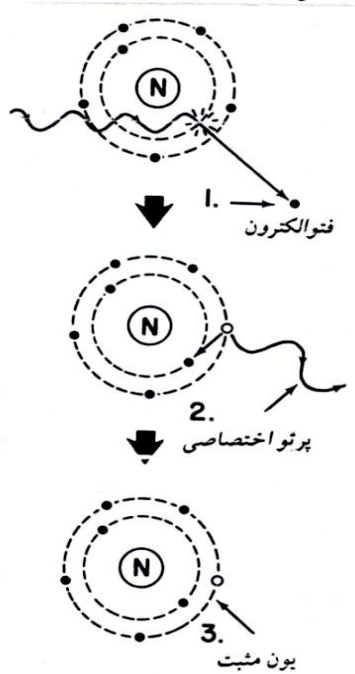
A- برخورد یک فوتون با الکترون لایه داخلی ماده (K, L) با انرژی کمی بیش از انرژی همبستگی ماده الکترونهاى بافت و خارج کردن الکترون ماده

$$E_i = E_b + E_e$$

B- جذب کامل انرژی فوتون توسط الکترون ماده و ناپدید شدن فوتون

C- پر شدن الکترون لایه K ماده توسط لایه L ماده و از دست دادن انرژی به صورت اشعه ایکس ثانویه

D- انتقال الکترون لایه K ← کل اتم یک الکترون کم ← یون مثبت تولید میشود.

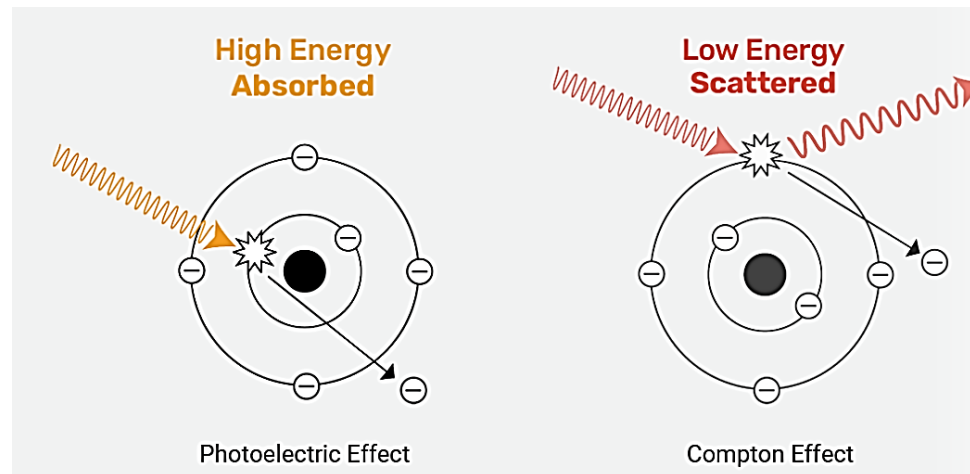


شکل ۲-۴ اثر فتوالکتریک

تولید اشعه ایکس ثانویه : در فتوالکتریک فوتون اشعه باعث جدا شدن

الکترون اتم ماده میگردد که فوتون تولیدی اشعه ثانویه نامیده میشود

ومعادل نیست با اشعه پراکنده (اسکتر)



نتیجه برخورد فتوالکتریک:

- حذف یک فوتون الکترون مدار بر اثر فتوالکتریک
- یونیزاسیون اتم (اتم دارای بار مثبت میگردد)
- اکنون اتم و الکترون یک جفت یون هستند.
- جذب الکترون دفع شده در ضخامت چند میلیمتری بافت
- این الکترون فتوالکترون نامیده میشود
- فرایند یونیزاسیون در ایجاد تغییرات بیولوژیکی در بافت بسیار مهم است.
- یک برخورد فتوالکتریک باعث تشکیل جفت یون های بسیار زیادی خواهد شد.

مثال برای تشکیل یک جفت یون حدود 34 eV لازم است

یک فوتوالکترون با انرژی جنبشی اولیه 68 keV باعث تشکیل 200 جفت

یون خواهد شد

$$68000/34 = 200$$

X-ray interaction with matter conti.

2- The Photoelectric Effect

What happens in Photoelectric effect ?

An incident Photon:

- encounters **inner shell** electron
- (**K or L**) of matter atom and
- Giving up (nearly) **all its energy** to the electron.
- the **photon disappears**,

inner shell electron :

- ✓ Ejects from the orbit
- ✓ The **electron flies off into space** as a photoelectron
- ✓ carrying the excess energy as kinetic energy.
- ✓ The **K shell electron void filled immediately by another electron** and
- ✓ hence the excess energy is released as

Secondary Radiation: The **atom is ionized**.

Summaring:

Ionizing: X-ray undergo ionizing interaction **with inner shell** electrons.

Absorption: The x-ray **totally absorbed** , but not scattered.

photoelectron : The **electron removed** from atom, called a photoelectron.

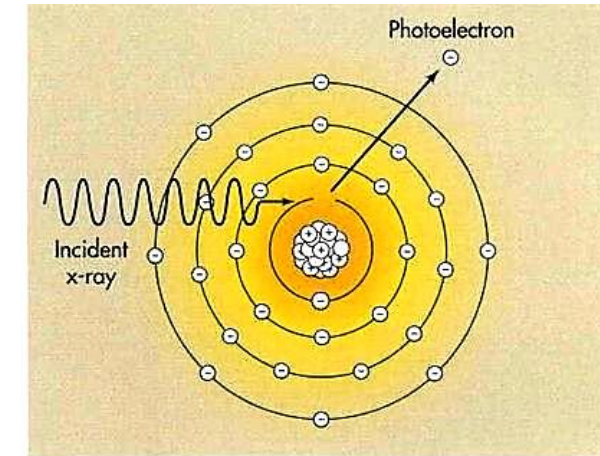


FIGURE 13-4 The photoelectric effect occurs when an incident x-ray is totally absorbed during the ionization of an inner-shell electron. The incident photon disappears, and the K-shell electron, now called a *photoelectron*, is ejected from the atom.

سه قانون ساده بر احتمال وقوع برخورد فتوالکتریک حکومت می نماید:

صفحه 168

در چه صورت احتمال اثر فتوالکتریک افزایش مییابد:

1- دارا بودن انرژی کافی فوتون برای غلبه بر انرژی همبستگی الکترون ماده برخوردی تا اثر فتوالکتریک وقوع یابد.

2- دارا بودن تشابه انرژی فوتون با الکترون ماده برخوردی

زمانی احتمال وقوع حداکثر است که انرژی فوتون و انرژی همبستگی الکترون تقریباً با هم برابر باشند

مثال: انرژی همبستگی K یید 33 Kev است در نتیجه احتمال وقوع پدیده فتوالکتریک برای فوتون با 34 Kev بیشتر از 100 Kev است

توجه: طیف انرژی فوتونها به صورت پیوسته و دارای چندین انرژی میباشد.

بیشتر انرژی تابش شده از یک لامپ 1/3 بالاترین انرژی است.

بنابر این در شرایط 100 kVp اکثر فوتون ها در محدوده 34 keV خواهند بود

که انرژی متوسط حدود 40 keV است

3: هر چه الکترون ماده بصورت محکتر در مدار خود قرار گرفته باشد ؛ در نتیجه افزایش احتمال وقوع پدیده فوتوالکتریک .

این متناسب است با Z^3 یا 3 (عدد اتمی ماده) تعداد پروتونهای هسته هر اتم ()

4: با افزایش انرژی فوتون اولیه اثر فوتوالکتریک کاهش مییابد $1/E^3$ (انرژی اشعه)

مثال : احتمال برخورد فوتوالکتریک در استخوان با عدد اتمی 13.8 با بافت نرم عدد اتمی 7.4 برابر است با $[13.8 / 7.4]^3 = 6.49$

TABLE 9-2 Atomic Number and K-Shell Electron Binding Energy of Radiologically Important Elements		
Element	Atomic Number	K-Shell Electron Binding Energy (keV)
Hydrogen	1	0.02
Carbon	6	0.3
Nitrogen	7	0.4
Oxygen	8	0.5
Aluminum	13	1.6
Calcium	20	4.1
Molybdenum	42	19
Rhodium	45	23
Iodine	53	33
Barium	56	37
Tungsten	74	69
Rhenium	75	72
Lead	82	88

TABLE 9-3 Effective Atomic Number of Materials Important to Radiologic Science	
Type of Substance	Effective Atomic Number
HUMAN TISSUE	
Fat	6.3
Soft tissue	7.4
Lung	7.4
Bone	13.8
CONTRAST MATERIAL	
Air	7.6
Iodine	53
Barium	56
OTHER	
Concrete	17
Molybdenum	42
Tungsten	74
Lead	82

بررسی اثر فتوالکتریک از نقطه نظر کیفیت تصویر و تشعشع بیمار

صفحه 169

1- از نقطه نظر کیفیت تصویر : با کاهش kVp اثر فتوالکتریک افزایش مییابد با نسبت $1/E^3$

اگر اختلاف جذب بین اعضای مجاور زیاد شود کنتراست طبیعی بافت افزایش میابد.

(جنبه خوب دارد)

و کنتراست بهتر ◀ تولید تصاویر با کیفیت بهتر

نکته: وقتی اختلاف جذب بین اعضا مجاور زیاد شود کنتراست افزایش میابد.

2- از نقطه نظر تشعشع بیمار (اثر فتوالکتریک تاثیر بد):

جذب تمام انرژی فوتون در اثر فتوالکتریک **توسط بیمار** صورت میگیرد.

به حداقل رساندن اکسپوزر (دز بیمار) : استفاده از بالاترین انرژی اشعه X (kVp بالا)

جهت به حداقل رسانیدن اثر فتوالکتریک و در نتیجه کاهش دز دریافتی بیمار

خلاصه: با افزایش kVp فتوالکتریک کاهش میابد

درصد اندرکنش های کمپتون در مقایسه با فتوالکتریک تا حدودی کاهش می یابد

بنابراین با بالا رفتن kVp تولید فوتون های پراکنده کمتر میشود

در ضمن افزایش kVp ابزاری برای حفاظت در برابر تشعشع در نظر گرفته میشود

و البته باید با کیفیت تصویر موازنه شود

3- پراکندگی کمپتون

خلاصه فرایند:

- A- برخورد فوتون با الکترون آزاد از لایه خارجی اتم یک ماده (بافت)
 - B- خارج شدن الکترون ماده از مدار خود
 - C - انحراف فوتون از مسیر اولیه و حرکت در جهت جدید
 - D - تولید جفت یون ماده یونیزاسیون
- (انرژی زیادی صرف جدا شدن الکترون نمی گردد)
(این فرایند در الکترون آزاد موجود در مدار خارجی ماده صورت میگیرد)

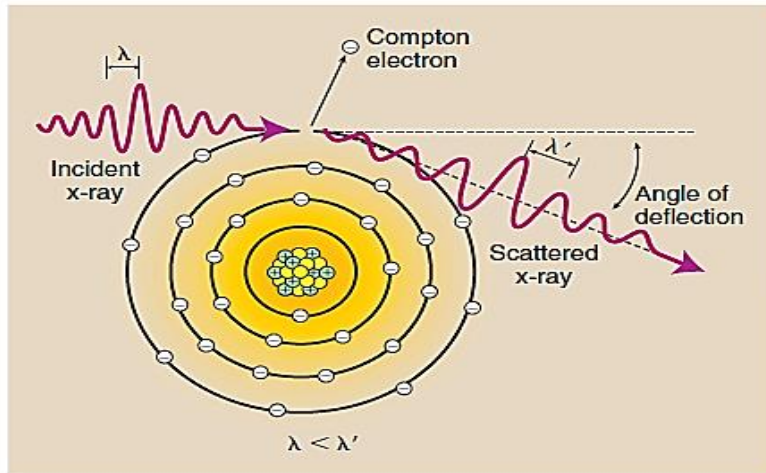


FIGURE 9-2 Compton scattering occurs between moderate-energy x-rays and outer-shell electrons. It results in ionization of the target atom, a change in x-ray direction, and a reduction in x-ray energy. The wavelength of the scattered x-ray is greater than that of the incident x-ray.

عوارض پراکندگی کمپتون (فوتون اسکتر = پرتو پراکنده) :
عامل اصلی تولید مه الودگی در فیلم (اثر مخرب)

الکترون ثانویه : دربرخورد کمپتون الکترون جدا شده از ماده را الکترون ثانویه نامیده می شود.

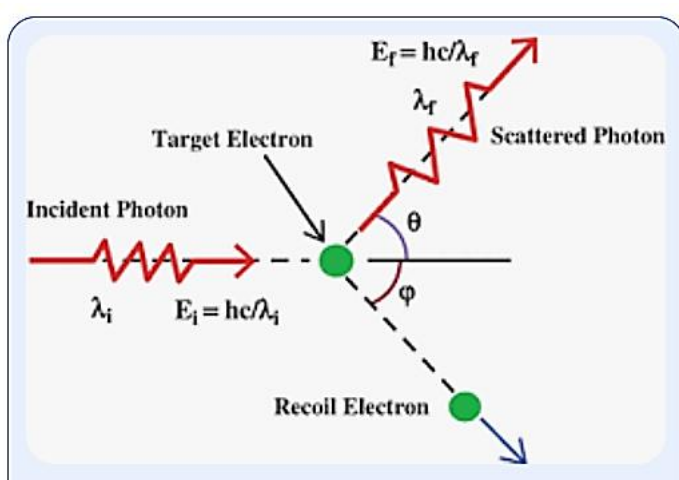
چگونگی توزیع انرژی فوتون:

توزیع انرژی فوتون به دو راه صورت میگیرد

- قسمتی از انرژی به الکترون انتقال و بصورت جنبشی در میاید
- بقیه انرژی باعث انحراف فوتون اولیه میگردد.

$$E_i = E_c + (E_b + E_{ke})$$

E_i : انرژی فوتون برخوردی
 E_b : انرژی همبستگی
 E_c : انرژی فوتون بخش
 E_{ke} : انرژی جنبشی الکترون



3. Compton effect

The Compton effect occurs when:

Photon: The **incident x-ray photon** with relatively high energy interact with an **outer-shell electron**

outer-shell electron:

- Ejects from the atom
- Ionizing the atom
- The ejected electron is called a **Compton electron** or **Secondary electron**.

A X-ray photon of lower energy: is scattered from the atom.

- The X-Ray continues in a **direction with less energy.** ($\lambda \neq \lambda'$)

Role : All most all the scatter radiation that we encountered in diagnostic radiology **comes from Compton Scattering**

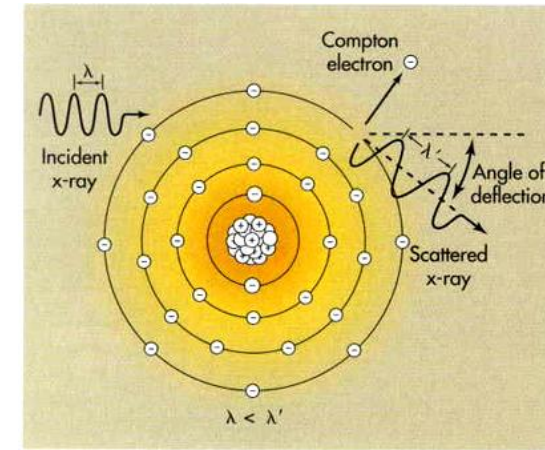
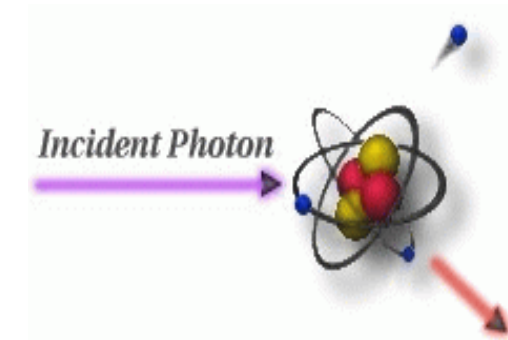
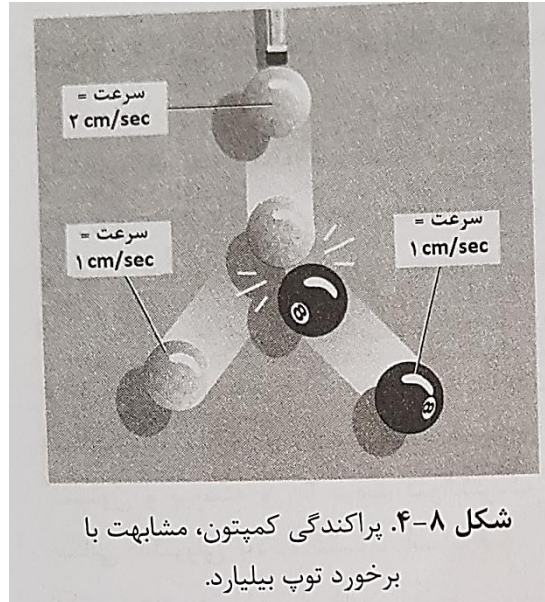


FIGURE 13-2 The Compton effect occurs between moderate-energy x-rays and outer-shell electrons. It results in ionization of the target atom, a change in x-ray direction, and a reduction of x-ray energy. The wavelength of the scattered x-ray is greater than that of the incident x-ray.



ادامه پراکندگی کمپتون...



فوتون هرگز تمام انرژی را از دست نمی دهد.

میزان انرژی باقیمانده : انرژی اولیه فوتون

زاویه پراکندگی

فوتون با انرژی کم: مسیر فوتون پراکنده می تواند 180° باشد.

فقط یک فرایند اتفاق نمی افتد: فوتون بعد از پخش، در جهت دیگری

ادامه مسیر میدهد و ممکن است با یک اتم دیگر به صورت کمپتون و

یا فتوالکتریک برخورد کند. پخش بیشتر در جهت جلو است

احتمال وقوع پراکندگی کمپتون :

1- بستگی به انرژی پرتو ($1/E$)

با زیاد شدن انرژی پرتو یکس احتمال کمپتون کاهش می یابد ولی نسبت به فتوالکتریک وابستگی کمتری به میزان انرژی دارد.

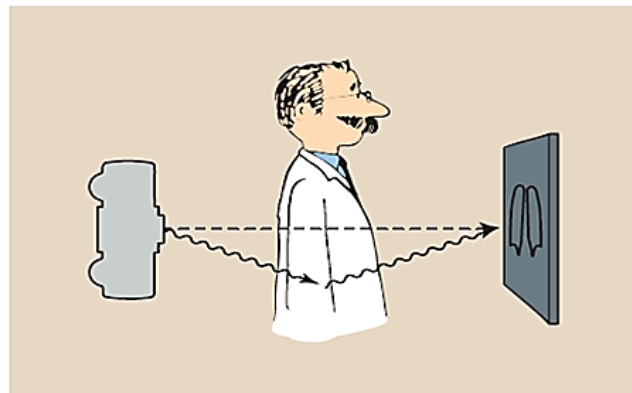


FIGURE 9-11 When an x-ray is Compton scattered, the image receptor thinks it came straight from the source.

2- عدم بستگی به عدد اتمی ماده جاذب Z

تقریباً مستقل از عدد اتمی جاذب است چرا؟؟؟؟

چون پراکندگی کمپتون با توجه به الکترونهاى آزاد جسم جاذب (الکترونهاى لایه خارجى) صورت میگیرد که جدا شدن الکترونها نیاز به انرژی زیادی

محاسبه تغییر در طول موج فوتون:

رابطه کلاسیک برای محاسبه تغییر طول موج

محاسبه طول موج فوتون اولیه λ_1 قبل از برخورد:

$$\lambda_1 = 12.4/\text{keV} = 12.4/\text{kVp}$$

محاسبه طول موج فوتون پس از برخورد λ_2 : (از دست دادن انرژی)

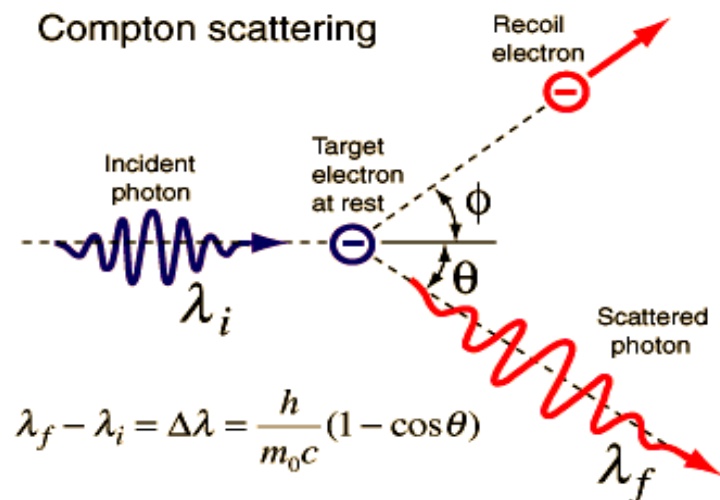
$$\lambda\Delta = \lambda_2 + \lambda_1$$

محاسبه تغییر طول موج فوتون پخش شده $\Delta\lambda$

$$\Delta\lambda = (h/mc) (1 - \cos\Theta) = 0.024(1 - \cos\Theta)$$

تغییر در طول موج: $\Delta\lambda$ بر اساس انگستروم

زاویه انحراف: Θ



عوارض پرتوهای اسکتر: باعث مه آلودگی روی فیلم ←
کنتراست کم حذف مشکل, نمی توان از فیلتر استفاده کرد

توجه: مقدار زیادی از پرتوهای اسکتر در عمل هایی که از دستگاه فلوروسکوپی استفاده میشود
از طریق بیمار به متصدی فلوروسکوپی انتقال میابد (نه از طریق دستگاه)

Table 17-1 shows the percentage of x-rays incident on a 10-cm thickness of soft tissue that will undergo photoelectric interaction and Compton interaction at selected kVp levels from 50 to 120. Kilovoltage is one of the factors that affect the level of scatter radiation and can be controlled by the radiologic technologist.

جدول: رابطه بین افزایش kVp و میزان درصد برخورد فتوالکتریک و کمپتون

17-1 Percent Interaction of X-Rays by Photoelectric and Compton Processes and Percent Transmission Through 10 cm of Soft Tissue				
kVp	PERCENT INTERACTION			Percent Transmission
	Photoelectric	Compton	Total	
50	79	21	>99	<1
60	70	30	>99	<1
70	60	40	>99	<1
80	46	52	98	2
90	38	59	97	3
100	31	63	94	6
110	23	70	93	7
120	18	73	91	9

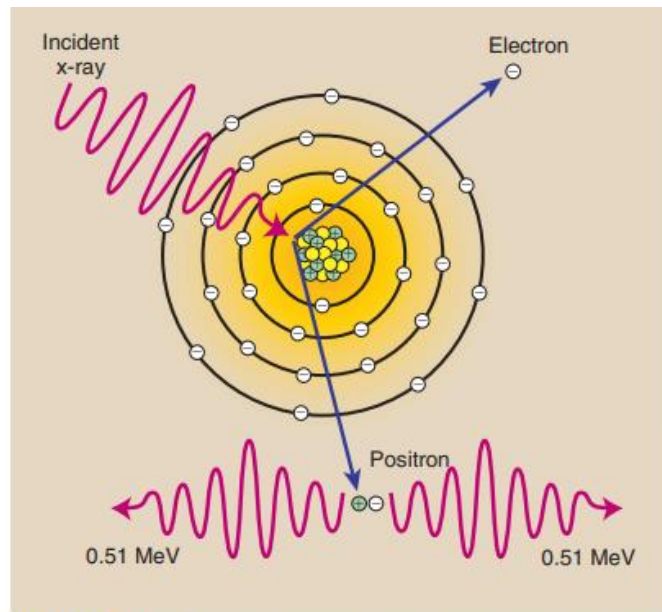
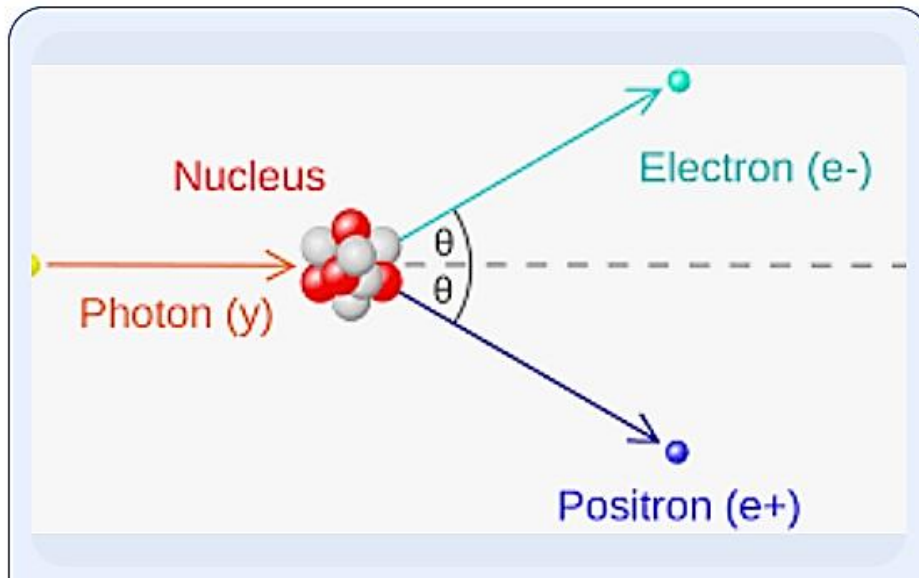


FIGURE 9-8 Pair production occurs with x-rays that have energies greater than 1.02 MeV. The x-ray interacts with the nuclear field, and two electrons that have opposite electrostatic charges are created.



4- تولید جفت: صفحه 171

A- نحوه انجام فرایند تولید جفت:

اگر یک پرتو ایکس تابشی، **انرژی کافی** داشته باشد.

ممکن است به اندازه کافی به هسته اتم بافت هدف نزدیک شود و

تحت تأثیر میدان هسته قرار گیرد ← ناپدید شدن فوتون

تبدیل انرژی فوتون به ماده طبق رابطه انشتین $E = mc^2$

تجزیه فوتون به الکترون و پوزیترون

B- حداقل انرژی لازم برای تولید جفت:

فوتون تابشی باید حداقل داری انرژی بیش از **1.02 MeV** باشد تا این پدیده به وقوع بپیوندد.

در محدوده انرژی اشعه X تشخیصی رخ نمی دهد. چرا؟؟؟

** بدون اهمیت در رادیولوژی تشخیصی

(حداکثر انرژی در رادیولوژی تشخیصی 150 KeV)

اما در پرتو درمانی اهمیت دارد

کاربرد بالینی تولید جفت : در پرتو درمانی اهمیت دارد که از فوتون های

پر انرژی استفاده میشود

4. Pair production

What happens in Pair production ?

If an **incident x-ray** has sufficient energy, and come close enough to the **nucleus** of the atom , the **interaction** between the x-ray and the nucleus field cause x-ray **disappear**, and in its place two electrons appeared , one positively charge (**positron**) and one negatively charged (**electron**).

Photon energy : A high energy photon (1.02 MeV)
interacts with the nucleus of an **atom**.

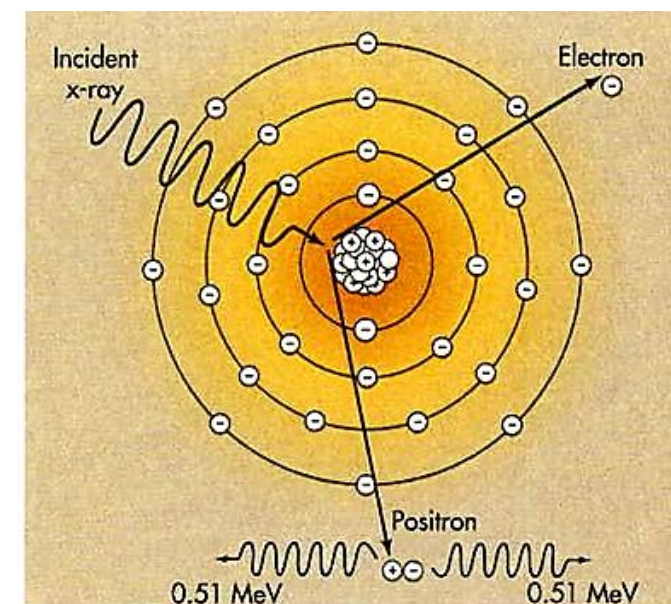
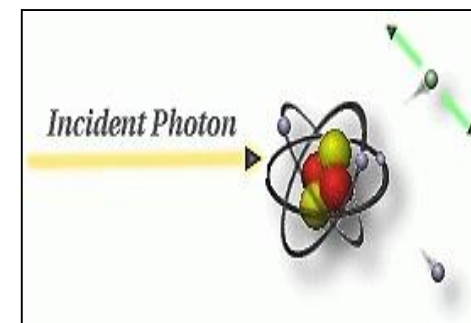
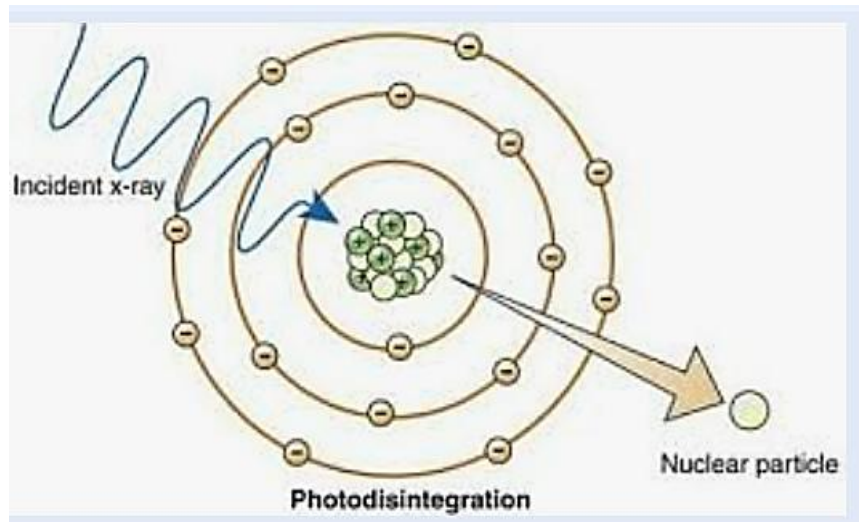


FIGURE 13-8 Pair production occurs with x-rays that have energies greater than 1.02 MeV. The x-ray interacts with the nuclear force field, and two electrons that have opposite electrostatic charges are created. The positron annihilates with an electron, creating two 0.51-MeV photons.

5- تجزیه نوری (تجزیه توسط فوتون) : صفحه 171



- نحوه انجام فرایند تجزیه نوری:

فوتون ایکس با انرژی بالا مستقیماً با هسته اتم ماده برخورد کند

جذب شدن فوتون توسط هسته ماده در نتیجه هسته بر انگیزته میگردد.

* تجزیه هسته اتم برخوردی ← تجزیه هسته به نوترون، پروتون و ذره α

* حداقل انرژی فوتون **7 Mev**

** بدون اهمیت در رادیولوژی تشخیصی

(حداکثر انرژی در رادیولوژی تشخیصی 150 KeV)

کاربرد بالینی تجزیه نوری : این رویداد بین یک فوتون پر انرژی و هسته است.

مثل فوتون های مورد استفاده در پرتو درمانی است
پس در پرتودرمانی اهمیت دارد

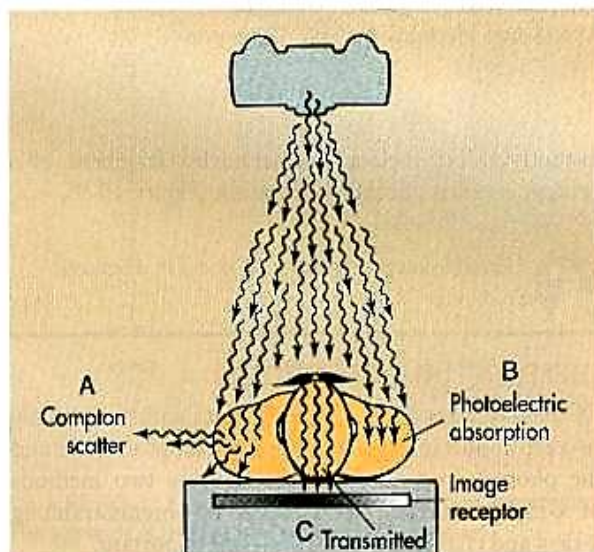


FIGURE 10-10 Three types of x-rays are important to the making of a radiograph: those scattered by Compton interaction (A); those absorbed photoelectrically (B); and those transmitted through the patient without interaction (C).

تعداد نسبی وقوع (احتمال) برخوردهای

اساسی بین فوتون و ماده

1- پراکندگی همدوس: 5 %

2- پراکندگی کمپتون: 20 %

3- فتوالکتریک: 75 %

X-ray interaction with matter conti..

5. Photodisintegration

What happens in Photodisintegration ?

A photon with extremely high energy (7-15 MeV),

interacts directly with the nucleus of an atom.

May eject a neutron, proton or on rare occasions even an alpha particle.

No diagnostic importance.

We rarely use radiation >150 KeV in diagnostic radiology.

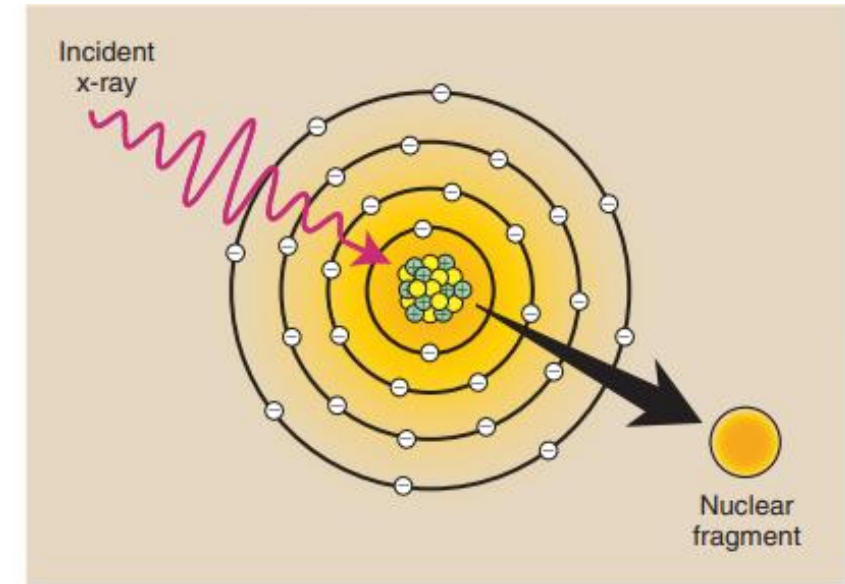


FIGURE 9-9 Photodisintegration is an interaction between high-energy x-rays and the nucleus. The x-ray is absorbed by the nucleus, and a nuclear fragment is emitted.

تضعیف خطی (ضریب کاهش خطی) صفحه 172

عوامل موثر در کاهش شدت پرتو توسط ماده (تضعیف)

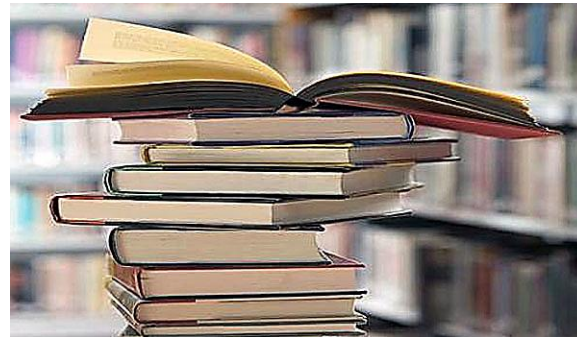


اهمیت نقش فوتونها در تشکیل تصویر:

اهمیت نقش فوتونها تضعیف شده کمتر از فوتونهای عبوری نیست
اگر تمام فوتونها عبور میکردند فیلم بطور یکنواخت **سیاه** در غیر
اینصورت **سفید** میشد.

ورود پرتو به درون بافت : یک دسته پرتو اشعه با **انرژیهای متفاوت**
(پلی کروماتیک) وقتی وارد بدن بیمار میشوند
بر اثر تضعیف با توضیعی کاملاً غیر یکنواخت از بدن خارج میگردند.

تعریف تضعیف پرتوها: کاهش شدت اشعه در هنگام عبور از ماده (جذب , تفریق , شکسته شدن در ماده)



وابستگی تضعیف: به کمیت و کیفیت فوتونها

کمیت: تعداد فوتونها

کیفیت: انرژی

شدت: حاصلضرب تعداد و انرژی فوتونها

(شدت فوتونهای 50 keV بیشتر از 20 keV)

عوامل موثر در کاهش شدت : 1- جنس ماده و 2- ضخامت ماده

ضریب تضعیف خطی: (μ) Linear Attenuation-Coefficient

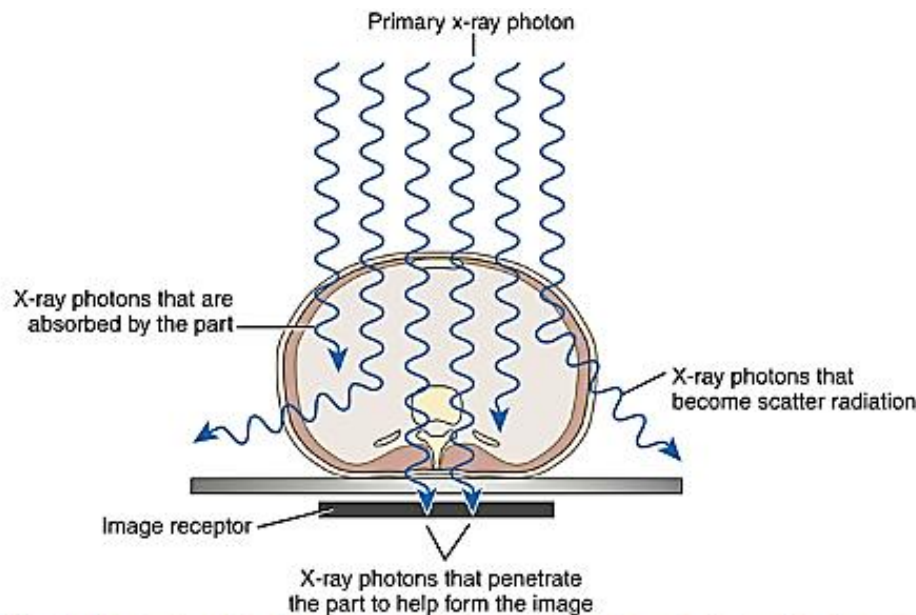
ضریب کاهش خطی (μ) : به معنی احتمال کاهش فوتون ها در یک سانتی متر ضخامت از یک ماده مختص تشعشعات تک انرژی میباشد.

بستگی: به انرژی اشعه و نوع ماده جاذب
مهم ترین ضریب در رادیولوژی؛

$$\mu_{\text{tot}} = \mu_{\text{PE}} + \mu_{\text{coh}} + \mu_{\text{CS}} + \mu_{\text{PP}}$$

پراکندگی کلاسیک (همدوس) : فتوالکتریک : کمپتون : تولید جفت :

در محدوده انرژی تشخیصی با افزایش انرژی ، مقدار **ضریب کاهش خطی μ** کاهش پیدا می کند
مقدار μ برای بافت نرم: بین 0.35 cm^{-1} تا 0.16 cm^{-1} است.



عوامل موثر بر μ :

❖ بستگی به چگالی مواد (density) نیز دارد ،

عدم کارایی ضریب تضعیف خطی؟؟؟

❖ (هرچند جنس هر سه ماده آب ؛ یخ و بخار آب یکسان است ولی جذب متفاوت است)

❖ لذا جهت رفع این وابستگی، ضریب کاهش جرمی را تعریف می کنند.

ضریب کاهش جرمی: μ_m

رفع وابستگی ضریب تضعیف به چگالی ماده

با تغییر چگالی (ρ) ، ضریب کاهش خطی یک جسم هم تغییر میکند،

جایگزینی ضریب کاهش جرمی μ_m که به چگالی (دانسیته) وابسته نیست.

$$(\mu_{\text{Water}} > \mu_{\text{ice}} > \mu_{\text{Steam}})$$

تعریف ضریب کاهش جرمی: کاهش کسری از شدت پرتو اولیه به وسیله **ضخامت 1 g/cm^2** از ماده.

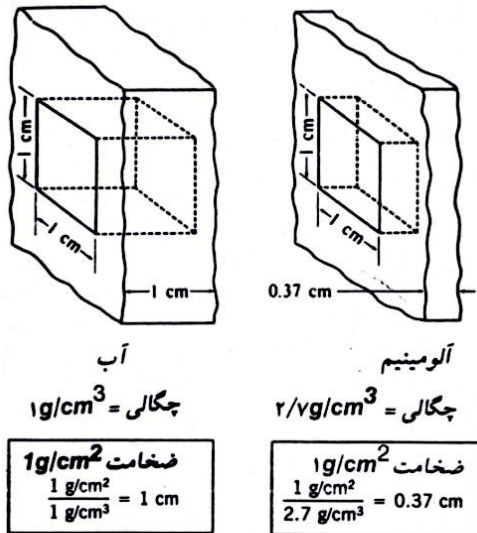
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

از تفسیم ضریب تضعیف خطی بر چگالی
واحد آن Cm^2/g است.

تعیین کننده میزان تضعیف پرتوها توسط مواد مختلف.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\frac{\text{cm}^{-1}}{\text{gm/cm}^3} = \text{cm}^2/\text{gm}$$



۳- ۵ ضخامت 1 g/cm^2 از آب و آلومینیم

Attenuation coefficients

$$\mu_{\text{tot}} = \mu_{\text{PE}} + \mu_{\text{coh}} + \mu_{\text{CS}} + \mu_{\text{PP}}$$

μ : Linear attenuation coefficient .

$$\mu = \text{cm}^{-1}$$

$$(\mu_{\text{Water}} > \mu_{\text{ice}} > \mu_{\text{Steam}})$$

μ_m : Mass attenuation coefficient: μ/ρ [$\text{cm}^2.\text{gm}^{-1}$]

Density ρ : characteristics of the medium

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\frac{\text{cm}^{-1}}{\text{gm/cm}^3} = \text{cm}^2/\text{gm}$$

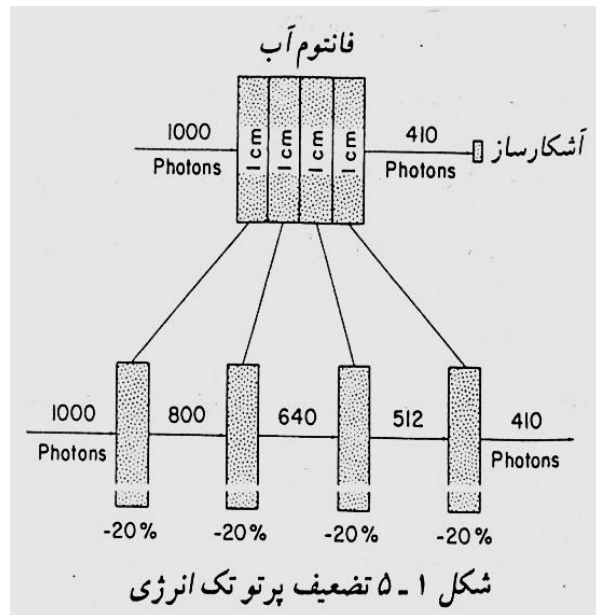
- μ/ρ same for water and water vapor (different ρ)
- μ/ρ similar for air and water (different μ)

$$\mu_{\text{water}} = \mu_{\text{ice}} = \mu_{\text{steam}}$$

ضریب کاهش نمایی اشعه X صفحه 173

برخورد یک دسته اشعه ایکس با یک ماده

در سانتی متر اول ممکن است فقط جزء کوچکی از فوتون ها در برخوردها شرکت نمایند.



فرض شود 1000 فوتون اولیه به ماده تابیده و 20% آن حذف شود.

میزان کاهش شدت اشعه در واحد ضخامت در هر نقطه از ماده، متناسب با شدت در آن نقطه است.

مقدار کاهش در عمق های مختلف، خطی نیست و به صورت نمایی کاهش می یابد.

تضعیف پرتوهای تک انرژی (منوکروماتیک)

کیفیت اشعه تک انرژی: در حین عبور از ماده جاذب تغییر نمی کند.

(حتا اگر یک فوتون از ماده خارج شود انرژی فوتون برابر با انرژی اولیه آن است)

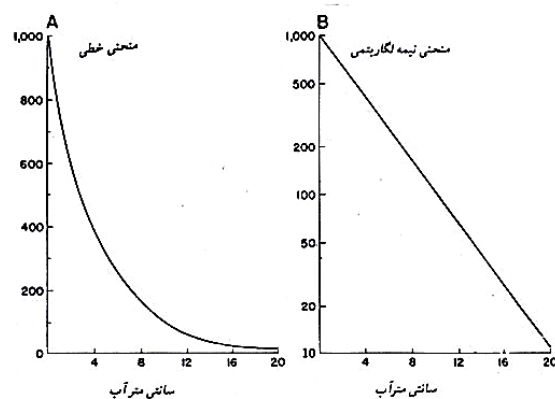
کمیت: تغییر در شدت منظور تغییر در تعداد فوتونهای موجود است.

منحنی تضعیف: به تعداد فوتونهای عبوری و ضخامت ماده جاذب (X)

بستگی دارد؛

در سانتی متر های اولیه: تعداد زیادتری فوتون تضعیف میگردد

در نتیجه گراف خمیده.



شکل ۲- ۵ منحنی تضعیف پرتو تک انرژی که بر کاغذ رسم منحنی غلطی (A) و نیمه لگاریتمی (B) ترسیم شده است

بدست آوردن عبارت ریاضی کاهش شدت اشعه در واحد ضخامت

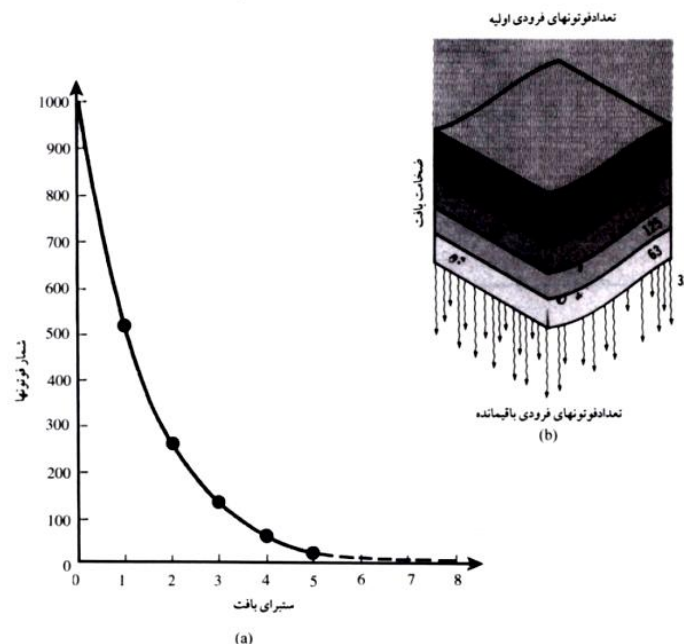
مقدار کاهش شدت اشعه در عمق های مختلف خطی نیست و به صورت نمایی کاهش میابد.

$$\Delta I = -\mu \cdot I \cdot \Delta x$$

ΔI : نشان دهنده تغییرات جزئی در شدت I

Δx : نمایانگر تغییرات جزئی در ضخامت x

μ : ضریب کاهش در واحد ضخامت



معادله ریاضی ساده شده : (کاهش پرتوها)

I_0 : شدت فوتون های اولیه

X : ضخامت ماده

e : مبنای لگاریتم (عدد نپر $e = 2.71$)

μ : ضریب کاهش خطی : $[\mu] \text{ cm}^{-1}$

I : تعداد فوتون های باقی مانده (عبور کرده)

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Interaction of radiation with matter

Beam attenuation and Half value thickness

1- Mono energetic beams

2- Heterogeneous beam

1- Attenuation of Mono energetic beams

Linear attenuation depends on μ : [cm^{-1}]

- ✓ characteristics of the medium (density ρ)
- ✓ photon beam energy

Exponential attenuation law of photons:

$$dI/I = -\mu dx$$

$$I_x = I_0 \exp(-\mu x) \Rightarrow I = I_0 e^{-\mu x}$$

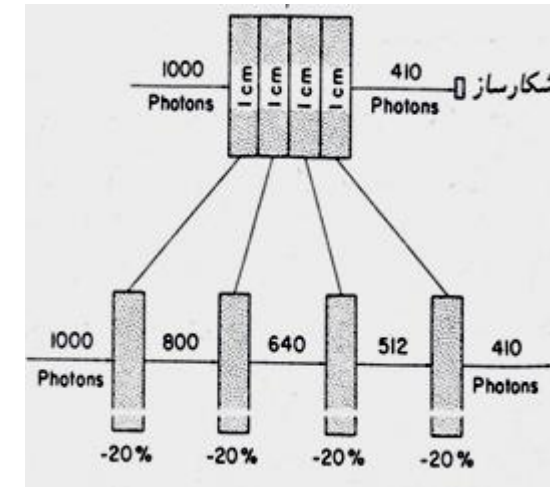
I: Photon intensity after interaction :(number of photons per unit area per second)

I_0 : Photon intensity before interaction

$e = 2.71$: Nipper number

μ : the linear attenuation coefficient [cm^{-1}]

X: thickness of matter (Patient thickness)



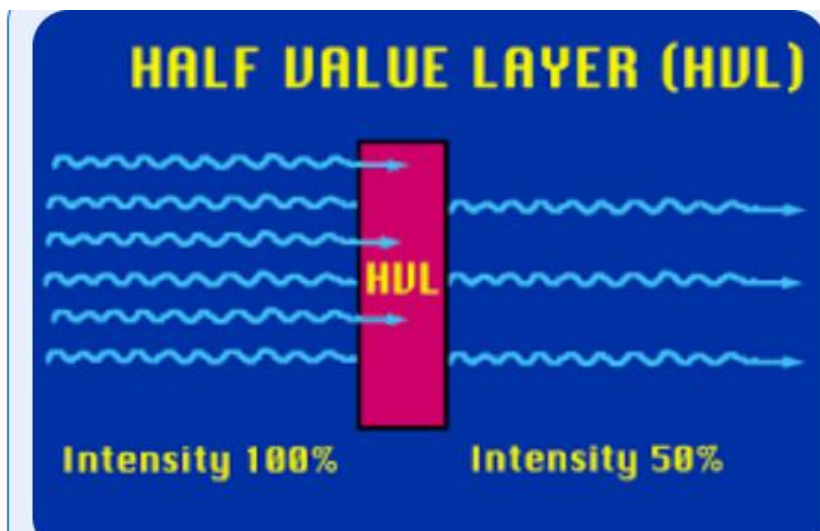
لایه نیمه جذب و کاربرد آن صفحه 174

(HVL) Half Value Layer :

HVL : بمعنی ضخامت ماده مورد نیاز جهت کاهش شدت اشعه به نصف مقدار اولیه است.

$$I_{HVL} = I_0 / 2 = I_0 e^{-\mu (HVL)} \Rightarrow L_n(1/2) = -\mu (HVL) \Rightarrow HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

$$HVL = 0.693/\mu$$



HVL برای مواد مختلف متفاوت و ضخامت آن برای هر ماده نیز در انرژی های مختلف، فرق می کند

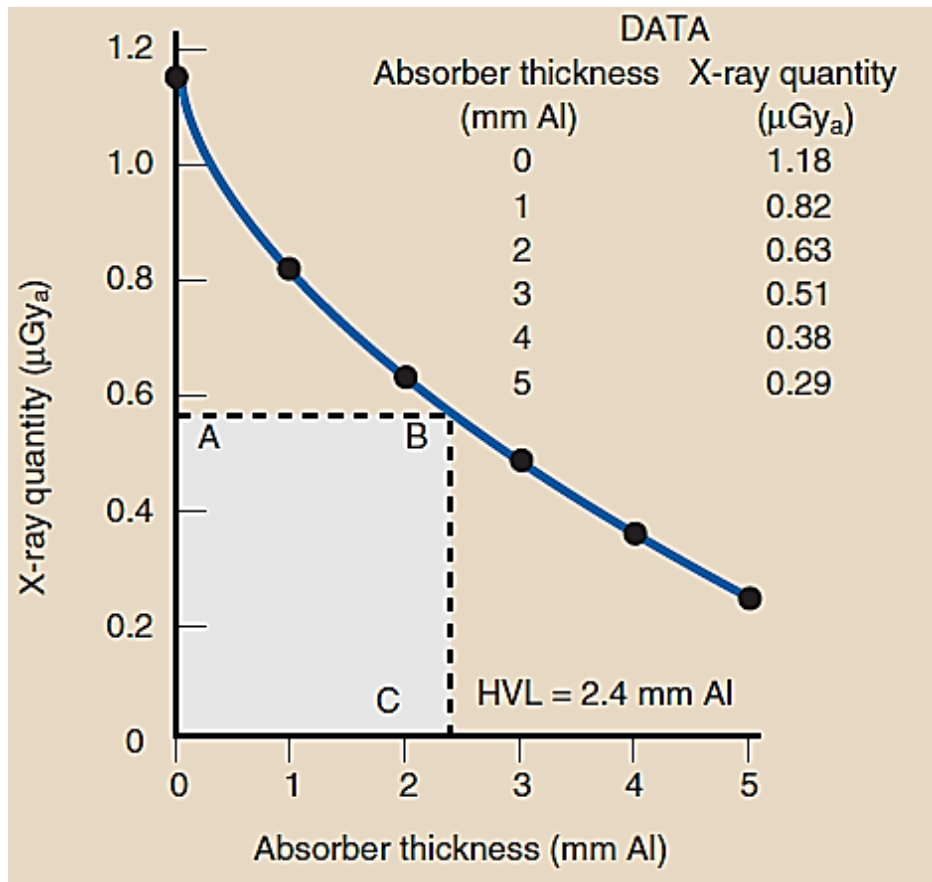
- ❖ اگر لایه نیمه جذب اشعه افزایش یابد: در نتیجه نشانگر قدرت نفوذ بیشتر اشعه است.
 - ❖ افزایش اندازه گیری HVL : (معیار) غیر مستقیم انرژی فوتون یا کیفیت تشعشع می باشد.
- کاربرد:

- در سرب کوبی دیوارهای اتاقهای رادیولوژی یا
- طراحی ضخامت روپوشهای سربی
- در تعیین جنس فیلترها

Determination of the HVL

Several methods can be used to determine the HVL of an x-ray beam.

Perhaps the most straightforward way is to graph the results of x-ray intensity measurements made with an experimental setup, like that in Figure below.



STEPS TO DETERMINE THE HALF-VALUE LAYER

1. Determine the x-ray beam intensity with no absorbing material in the beam and then with different known thicknesses of an absorber.
2. Plot the ordered pairs of data (thickness of absorber, x-ray quantity).
3. Determine the x-ray quantity equal to half the original quantity and locate this value on the y- or vertical axis of the graph in Figure 8-3.
4. Draw a horizontal line parallel to the x-axis from point A in step 3 until it intersects the curve (B).
5. From point B, drop a vertical line to the x-axis.
6. On the x-axis, read the thickness of the absorber required to reduce the x-ray intensity to half of its original value point (C). This is the HVL.



ضریب همگنی : Homogeneity Coefficient :

از آنجائیکه تشعشع عمومی (برمز اشتراک‌الانگ) تک انرژی نیست،
مقدار تشعشع کاهش یافته در ضخامت های اولیه یک ماده متفاوت است.

نسبت HVL اول به دوم، ضریب همگنی نام دارد.

$$HC = HVL_1 / HVL_2$$

مقدار تشعشع کاهش یافته در ضخامت های اولیه سریعتر انجام میشود.

جمع بندي و نتيجه گيري:



باتشكر از توجه شما

The End

- جمع بندی

- دانشجویان عزیز مطالب تکمیلی همراه با چند نمونه مسئله در زیر آورده شده است لطفا مطالعه فرمایید.

- با تشکر از توجه شما

نمونه سوالهای چهار گزینه ای

چه رابطه ای بین احتمال پراکندگی کمپون با انرژی اشعه ایکس (E) می باشد؟

- الف) E^3 (ب) $(1/E^3)$ (ج) $1/E$ (د) $(1/E^2)$

یک فوتون اشعه ایکس پس از برخورد با اتم ماده تولید یک اشعه ایکس پراکنده با همان طول موج اولیه می کند این نوع برخورد چه نامیده می شود؟

- الف) فتوالکتریک (ب) کمیتون (ج) کلاسیک (همدوس). (د) جذب

اگر احتمال اثر فتوالکتریک با اشعه ایکس $20keV$ در بافت نرم یک باشد در صورتی که اشعه ایکس با $60keV$ بکار برده شود این احتمال برای همان بافت چقدر خواهد شد؟

- الف) 0.11 (ب) 0.19 (ج) 1.2 (د) 0.037

فوتونی با طول موج $1/0$ انگسترم با الکترون اتمی به طریق کمپتون برخورد کند، طول موج فوتون ثانویه چند انگسترم است؟ (زاویه برخورد را 90 درجه در نظر بگیرید)

- الف) $076/0$ (ب) $100/0$ (ج) $124/0$ (د) $148/0$

$$\Delta\lambda = 0.024(1 - \cos 90) = 0.024(1-0)$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 0.024 \rightarrow \lambda' = 0.1 - 0.024 = 0.124$$

ضریب تضعیف جرمی (μ_m) مستقل از کدام است ؟

- الف) چگالی ماده جاذب .
ب) عدد جرمی ماده جاذب
ج) طول موج فوتونهای تابشی
د) انرژی موثر فوتونهای تابشی

هر چه HVL (ضخامت نیم جذب) بافتی افزایش یابد:

- الف.) مقدار نفوذ اشعه بیشتر می شود
ب) مقدار جذب اشعه در بافت بیشتر خواهد بود
ج) تصاویر واضح تر بدست می آید
د) دوز بیمار افزایش می یابد

بیشتر دوز دریافتی بیمار در رادیوگرافی ناشی از:

- الف.) جذب فوتو الکتریک است
ب) جذب کامپتون است
ج) اشعه پراکنده است
د) اشعه اختصاصی است

حل مسئله

1- طول موج يك اشعه x برابر با 12 Pm است. انرژی فوتونهای آن چند kev است؟

2- فرض کنید تعداد 10^6 فوتون وارد ماده ای با ضریب جذب خطی 0.1 cm^{-1} و ضخامت 5 cm شود. تعداد فوتون های خروجی چقدر است

$$12 \text{ pm} = 12 \times 10^{-12} \text{ m} = 12 \times 10^{-2} \text{ \AA}$$

$$E = 12.4 / \lambda = E = \frac{12.4}{0.12} = 103 \text{ keV}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} = 10^6 e^{-0.5}$$

$$I = 10^6 \times (0.607) = 6.07 \times 10^5$$

3- اگر فوتوني با انرژي 100 keV در پديده کامپتون شرکت کند و 60° منحرف شود

طول موج فوتون اوليه چقدر است؟

انرژي فوتون اوليه چقدر است؟

چند درصد از انرژي به الكترون انتقال و چند درصد براي فوتون باقي مي ماند؟

تغيير در طول موج

طول موج فوتون انحرافي

انرژي فوتون اسكنر

9% انتقال به الكترون

91% باقي مانده براي فوتون

طول موج فوتون اولیه چقدر است؟

$$1) \lambda = \frac{12.4}{kev} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{12.4[A^\circ]}{100kev} = 0.124A^\circ$$

تغییر در طول موج

$$2) \Delta\lambda = 0.024(1 - \cos \theta) \Rightarrow \Delta\lambda = 0.024(1 - \cos 60^\circ) = 0.012 = A^\circ$$

طول موج فوتون انحرافی

انرژی فوتون اسکتر

$$3) \lambda_2 = \Delta\lambda + \lambda_1 \Rightarrow \lambda_2 = 0.124 + 0.012 = 0.136A^\circ$$

$$E_2 = \frac{12.4}{\lambda_2} \Rightarrow E_2 = \frac{12.4}{0.136} \approx 91kev$$

9% انتقال به الکترون

91% باقی مانده برای فوتون

4- اگر فوتونی با انرژی 1000keV در پدیده کامیون شرکت کند و 60° منحرف شود طول موج فوتون اولیه چقدر است؟
انرژی فوتون ثانویه چقدر است؟
چند درصد از انرژی به الکترون انتقال و چند درصد برای فوتون باقی می ماند؟

5- اگر فوتونی با انرژی 100keV در پدیده Compton شرکت کند حداکثر چه مقدار (چند درصد) از انرژی خود را به الکترون میدهد.
چند درصد از پرتو های γ از یک صفحه آلومینیم با ضخامت 2 mm و ضریب جذب خطی 3cm^{-1} عبور میکند.
پرتوهای عبوری I پرتو های اولیه I_0

$$1) \lambda_1 = \frac{12.4}{1000} = 0.0124 \text{Å}$$

$$\Delta\lambda = 0.024(1 - 0/5) = 0.012$$

$$\lambda_2 = \Delta\lambda + \lambda_1 = 0.0244$$

$$2) E_2 = \frac{12.4}{\lambda_2} = \frac{12.4}{0.0244} = 508 \text{keV}$$

$$3) \text{تقریباً } 50\%$$

$$\lambda_1 = \frac{12.4}{100} = 0.124 \text{Å}$$

$$\Delta\lambda = 0.024(1 - \cos 180^\circ) \Rightarrow \Delta\lambda = 0.024(2) = 0.048 \text{Å}$$

$$\lambda_2 = 0.048 + 0.124 = 0.172$$

$$E_2 = \frac{12.4}{0.172} = 72 \text{keV}$$

6- چند درصد از پرتو های گاما از يك صفحه آلومينيم با ضخامت 2 mm و ضريب جذب خطي 3cm^{-1} عبور ميکند.

پرتوهای عبوري I پرتو های اولیه I_0

7- اگر يك قطعه سربي به ضخامت 8 cm بتواند 99% از يك دسته پرتو گاما را کاهش دهد

لايه نيم جذب (HVL) و ضريب جذب فعلي را حساب کنید

$$I = I_0 e^{-\mu x} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = \frac{I_0 e^{-\mu x}}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} = e^{-3 \times 0.2} = 0.5488$$

$$\frac{I}{I_0} \approx 55\%$$

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} =$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \rightarrow 0.1 = e^{-\mu x} = e^{-8\mu}$$

$$\ln 0.1 = -\mu x \Rightarrow -4.6 = -\mu(8)$$

$$\mu = \frac{4.6}{8} = \underline{\underline{0.58 \text{ cm}^{-1}}}$$

$$HVL = \frac{0.693}{0.58} = 1.2 \text{ cm}$$

8- در صورتی که تعداد فوتونهای اولیه 1000 و تعداد 800 فوتون در برابر یک سانتی متر آب عبور نماید ضریب تضعیف خطی آب چقدر است؟
(ب) لایه نیمه جذب آن چقدر است؟

9- اگر لایه نیم جذب آلومینیم برای یک دسته پرتو X برابر با 3mm باشد ضریب کاهش خطی و ضریب کاهش جرمی آلومینیم برای این دسته پرتو چقدر است؟
با توجه به $\rho_{AL}=2.7 \text{ g/cm}^3$
لایه نیمه جذب برای آلومینیم $HVL=3\text{mm}$

$$N = N_0 e^{-\mu x} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\mu x}$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\mu x \Rightarrow \mu = \ln \frac{N_0}{N} = \ln \frac{1000}{800}$$

$$\mu = \ln 10/8 = \ln 1.25 \Rightarrow \mu = 0.22 \left[\frac{1}{cm} \right]$$

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} = \frac{0.693}{0.22} = 3.15 cm$$

$$HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

$$\mu = \frac{0.693}{HVL} \Rightarrow \mu = \frac{0.693}{3 \times 10^{-3}} = 231 \frac{1}{m} = 2.31 \frac{1}{cm}$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{2.31}{2.7} \frac{\frac{1}{cm}}{\frac{gr}{cm^3}} = 0.855 \frac{cm^2}{gr}$$

Question: How much more likely is an x-ray to interact with bone than muscle?

Answer: $\left(\frac{13.8}{7.4}\right)^3 = \frac{2628}{405} = 6.5$

Compton scattering of x-rays is independent of the atomic number of different tissue (Figure 13-3). The probability of Compton scattering for bone atoms and for soft tissue atoms is about equal and decreases with increasing x-ray energy. This decrease in scattering, how-



To image small differences in soft tissue, use low kVp to get maximal differential absorption.

Question: If the relative probability of photoelectric interaction with soft tissue for a 20-keV x-ray is 1, how much less likely will an interaction be for a 50-keV x-ray? How much more likely is interaction with iodine than with soft tissue for a 70-keV x-ray?

Answer: $\left(\frac{20 \text{ keV}}{50 \text{ keV}}\right)^3 = \left(\frac{2}{5}\right)^3$
= 0.064, the probability of 50-keV interaction compared with 20-keV reaction

Atomic number of iodine = 53

Atomic number of soft tissue = 7.4

$\left(\frac{53}{7.4}\right)^3 = 368$, the probability of interaction with iodine compared with soft tissue

A •

یک تیوپ اشعه ایکس تابشی با 110kVp , 10 mAs انجام میدهد؛
که شدت آن 32 میلی راد (32mR) یا 0.32 میلی گری است اگر
میلی آمپر به 20 mA افزایش یابد شدت چقدر خواهد شد.

Question: A lateral chest technique calls for 110 kVp and 10 mAs, which results in an x-ray intensity of 32 mR (0.32 mGy_a) at the position of the patient. If the mAs is increased to 20 mAs, what will the x-ray intensity be?

Answer:

$$\frac{x}{32 \text{ mR}} = \frac{20 \text{ mAs}}{10 \text{ mAs}}$$
$$x = \frac{(32 \text{ mAs})(20 \text{ mR})}{10 \text{ mAs}}$$
$$= 64 \text{ mR}$$



X-Ray Quantity and kVp

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{kVp_1}{kVp_2} \right)^2$$

where I_1 and I_2 are the x-ray intensities at kVp_1 and kVp_2 , respectively.

A •

Question: An extremity is examined with a technique of 58 kVp and 8 mAs, resulting in an entrance skin exposure of 24 mR. If the technique is changed to 54 kVp and 8 mAs to improve contrast, what will the x-ray quantity be?

Answer:

$$\begin{aligned} \frac{I}{24 \text{ mR}} &= \left(\frac{54 \text{ kVp}}{58 \text{ kVp}} \right)^2 \\ I &= 24 \text{ mR} \left(\frac{54 \text{ kVp}}{58 \text{ kVp}} \right)^2 \\ &= (24 \text{ mR})(0.93)^2 \\ &= (24 \text{ mR})(0.867) \\ &= 20.8 \text{ mR} \end{aligned}$$

Question: A radiographic technique calls for 80 kVp and 30 mAs and results in 135 mR (1.4 mGy_a). What is the expected entrance skin exposure if the kVp is increased to 92 kVp (+15%) and the mAs reduced by one-half to 15 mAs?

A •

Answer:

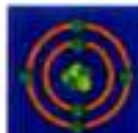
$$\frac{I}{135 \text{ mR}} = \left(\frac{15 \text{ mAs}}{30 \text{ mAs}} \right) \left(\frac{92 \text{ kVp}}{80 \text{ kVp}} \right)^2$$
$$I = 135 \text{ mR} \left(\frac{15 \text{ mAs}}{30 \text{ mAs}} \right) \left(\frac{92 \text{ kVp}}{80 \text{ kVp}} \right)^2$$
$$= 135 \text{ mR}(0.5)(1.32)$$
$$= 89 \text{ mR}$$

Question: A 50-keV x-ray interacts photoelectrically with (a) a carbon atom and (b) a barium atom. What is the kinetic energy of each photoelectron and the energy of each characteristic x-ray if an L-to-K transition occurs? (See Figure 4-9)

Answer:

a. $E_{KE} = K_i - K_b$
 $= 50 \text{ keV} - 0.3 \text{ keV}$
 $= 49.7 \text{ keV}$
 $E_x = 0.3 \text{ keV} - 0.006 \text{ keV}$
 $= 0.294 \text{ keV}$

b. $E_{KE} = E_i - E_b$
 $= 50 \text{ keV} - 37 \text{ keV}$
 $= 13 \text{ keV}$
 $E_x = 37 \text{ keV} - 5.989 \text{ keV}$
 $= 31.011 \text{ keV}$



The probability of photoelectric interaction is inversely proportional to the third power of the x-ray energy.

Question: If an 80-keV x-ray has a relative change of one photoelectric effect within the first centimeter of soft tissue, what is its relative probability of interacting with the following:

- Fat ($Z = 6.3$)
- Barium ($Z = 56$)

Answer:

- $\left(\frac{6.3}{7.4}\right)^3 = 0.62$
- $\left(\frac{56}{7.4}\right)^3 = 433$

TABLE 13-3 Effective Atomic Numbers of Materials Important to Diagnostic Radiology	
Substance	Effective Atomic Number
<i>Human tissue</i>	
Fat	6.3
Muscle	7.4
Lung	7.4
Bone	13.8
<i>Contrast material</i>	
Air	7.6
Iodine	53
Barium	56
<i>Other</i>	
Concrete	17
Molybdenum	42
Tungsten	74
Lead	82

Cubic relationships. The probability of interaction proportional to the third power changes rapidly. For the

Question: Assume that all x-ray interactions during mammography are photoelectric. What is the differential absorption of x-rays in microcalcifications relative to fatty tissue?

Answer: Differential absorption as a result of atomic number =

$$\left(\frac{20}{6.3}\right)^3 = \frac{8000}{250} = 32:1$$

Differential absorption as a result of mass density

$$= \frac{1550}{910} = 1.7:1$$

Total differential absorption = $(32)(1.7) = 54.4:1$

Question: What is the probability that an x-ray will interact with iodine rather than soft tissue?

Answer: Differential absorption as a result of atomic number =

$$\left(\frac{53}{7.4}\right)^3 = 367:1$$

Differential absorption as a result of mass density

$$= \frac{4.93}{1.0} = 4.93:1$$

Total differential absorption = $367 \times 4.93 = 1809:1$