

# جـلسـه هفتم

به نام خدا

## Rate of Energy loss - LET

به مقدار انرژی که در واحد مسافت به ماده منتقل می شود LET می گویند .

$$LET = \text{Linear Energy Transfer} = dE/dx$$

به مقدار انرژی که در واحد مسافت در ماده جذب می شود stopping power (توان توقف) می گویند .  
توان توقف مفهومی مشابه LET می باشد ولی با هم یکی نیستند چون همیشه جذب کمتر از انتقال انرژی است.

$$\text{Stopping Power} = dE/dx = \text{Mev/cm}$$

توان توقف در دوزیمتری بسیار کاربرد دارد.  
\*توان توقف جرمی

$$\text{Mass stopping power} = \frac{1}{\rho} \left( \frac{dE}{dx} \right) = \frac{\text{Mev}}{\text{gm/cm}^2}$$

در شکل : مقایسه ردپای 3 پرتو مختلف:

**ردپای فوتون پرنرژی :** ردپای نسبتاً پراکنده . نسبت به الکترونی کمتر پراکنده .

ردپاها جاهایی است که یونیزاسیون انجام می شود .

**ردپای پروتونی :** کاملاً متراکم . به همین دلیل است که دسته پروتونی انرژی زیادی به محیط واگذار می کند .

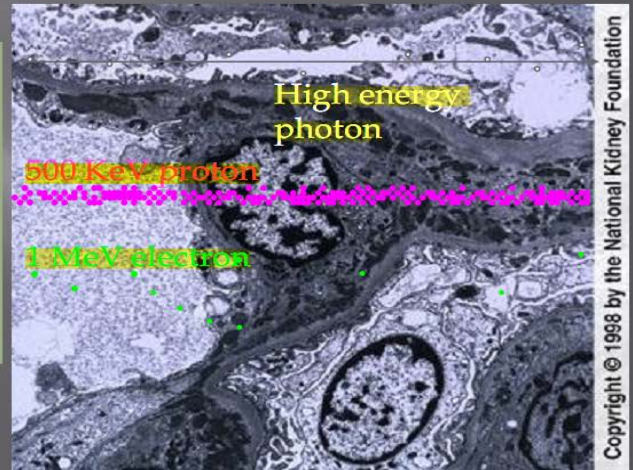
**ردپای الکترونی :** به علت جرم بسیار کم الکترون ، ردپای کاملاً پراکنده دارد.

# Rate of Energy Loss – LET

$$\text{LET} = \text{Linear Energy Transfer} = \frac{dE}{dx}$$

$$\text{Stopping Power} = \bar{S} = \frac{dE}{dx} = \frac{\text{MeV}}{\text{cm}}$$

$$\text{Mass Stopping Power} = \bar{S} = \frac{1}{\rho} \left( \frac{dE}{dx} \right) = \frac{\text{MeV}}{\text{gm/cm}^2}$$



Electron Micrograph of Human Cell

Copyright © 1998 by the National Kidney Foundation

pdfMachine

A pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Produce quality PDF files in seconds and preserve the integrity of your original documents. Compatible across nearly all Windows platforms, simply open the document you want to convert, click "print", select the "Broadgun pdfMachine printer" and that's it! Get yours now!

با توجه به جدول LET پرتوهای تابشی مختلف مقایسه می شود .  
 با توجه به جدول هر چه انرژی کمتر ، LET بیشتر ( رابطه عکس ) . یعنی وقتی انرژی کمتر باشد پرتو فرصت بیشتری برای تبادل با محیط دارد .  
 آلفا ضرری ندارد و خطر تابش خارجی آن صفر است ولی خطر تابش داخلی آن بسیار زیاد است .  
 مقایسه LET پروتون با آلفا : آلفا LET بیشتری دارد چون از 2 پروتون تشکیل شده و در واقع سنگین تر است . و جرم بیشتری دارد .

## *LET of ionizing radiation*

Type	Charge	Energy (MeV)	LET(keV/ $\mu$ m)
<b>Photons</b>	<b>0</b>	<b>200 kVp x-rays</b> <b>cobalt 60 <math>\gamma</math> rays</b>	<b>0.4-36</b> <b>0.2-2</b>
<b>Electrons</b>	<b>-1</b>	<b>0.001</b> <b>0.01-1</b>	<b>12.3</b> <b>2.3-0.25</b>
<b>Neutrons</b>	<b>0</b>	<b>2.5</b> <b>14.1</b>	<b>15-80</b> <b>3-30</b>
<b>Protons</b>	<b>+1</b>	<b>small</b> <b>2-10</b>	<b>92</b> <b>16-4</b>
<b>Alpha</b>	<b>+2</b>	<b>small</b> <b>5</b>	<b>260</b> <b>95</b>

LET effect on DNA damage :

در اینجا مقطعی از DNA به قطر 3 nm نشان داده شد . یک دسته الکترون تعداد تخریب های کمی دارد ولی یک دسته آلفا تعداد زیادی تخریب انجام داده است .

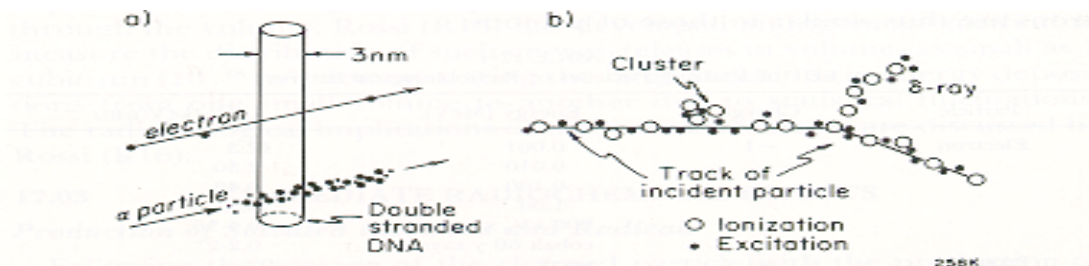


Figure 17-1. (a) Schematic representation of DNA and the tracks of an electron and  $\alpha$  particle through it. The fast electron is depicted as depositing energy at 0.25 keV/ $\mu$ m, while the  $\alpha$  particle of 5 MeV is shown depositing energy at the rate of 100 keV/ $\mu$ m. (b) Schematic drawing of a charged particle track illustrating the track, ion clusters, and  $\delta$  ray spurs.

## جلسه هفتم

- در اینجا 2 سوال مطرح می شود :
  - با توجه به LET ها و ردپاهای متفاوت اگر یکبار Gy1 دسته پروتونی و بار دیگر Gy1 دسته الکترونی دریافت کنیم ، اثرات تخریبی در دو حالت یکسان است ؟
  - آیا اثر نوترون روی چشم با اثرش روی کف پا یکی است ؟

برای تفکیک این ها 2 کمیت جدید معرفی می شود :

کمیت اول Equivalent dose ( دوز معادل ) است .

Equivalent dose is defined to describe the relative biological effectiveness of different types and energies of radiation.

Definition: Absorbed dose D in a tissue multiplied by the radiation weighting factor,  $W_R$  of that radiation

اثر رادیوبیولوژیکی نسبی پرتوهای مختلف با انرژی مختلف را به ما نشان می دهد .

فاکتور تابشی وزنی ( radiation weighting Factor )  $W_R$

این فاکتور برای ذرات مختلف فرق دارد که اهمیت تابش را نشان می دهد .

این فاکتور در بعضی جاها با نام QF ( Quality Factor ) آمده است .

Dose equivalent is given by the product of the absorbed dose and a **quality factor**.

Sievert (Sv) = QF x Dose

= QF x Gray

QF = 1 for X , gamma and electrons

QF= 5 for thermal neutrons.

QF= 20 for heavy particles ( alpha , heavy nuclei , fission fragments ( اجزای )  
( ... , شکافت )

**1 Gy of alpha particles is equivalent to 20 Gy of photon damage**

## جـلسه هفتم

### *Radiation Weighting Factors ( $W_R$ )*

Radiation type	energy range	$W_R$
Photons	all energies	1
Electrons	all energies	1
Neutrons	energy < 10 keV	5
	10 keV to 100 keV	10
	> 100 keV to 2 MeV	20
	> 2 MeV to 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protons	> 2 MeV	5
Alpha particles; fission fragments; heavy nuclei		20

$$\text{Equivalent Dose} = \sum D_R \cdot W_R$$

این ضریب را در دوز ضرب کرده و دوز معادل را به دست می آورند .

$$\text{Equivalent Dose} = \sum D_R \cdot W_R$$

مثال : 5گری فوتون و 2گری الکترون و 1گری نوترون 3Mev و 2گری آلفا داریم ، دوز معادل را حساب کنید :

با توجه به جدول موجود :

$$(5 \times 1) + (2 \times 1) + (1 \times 10) + (2 \times 20) = 57 \text{ Sv}$$

اگر دوز بر حسب Gy باشد ، دوز معادل بر حسب Sievert است .

اگر دوز بر حسب سانتی Gy یا rad باشد ، دوز معادل بر حسب rem است .

### *Effective Dose*

کمیت بعدی Effective Dose ( دوز موثر ) است .

فاکتور وزنی بافت ←  $W_{Tissue}$

هر یک از اعضای بدن اهمیت جدایی دارند ، به همین دلیل به هر یک از اعضای بدن عدد جداگانه ای اختصاص داده می شود .

## جـلسه هفتم

$$\sum D_R \cdot W_R \cdot W_T$$

Sum of equivalent doses to organs and tissues exposed,  
each multiplied by the appropriate tissue weighting factor

$$\text{Effective Dose} = \sum D \cdot W_R \cdot W_T$$

مثلا در مثال قبل اگر فوتون 5 گری به مغز استخوان و الکترون 2 گری به مثانه و آلفای 2 گری نیز به گنادها تابش شود، در این حالت دوز موثر به صورت زیر حساب می شود :

$$(0/12 \times 5 \times 1) + (0/4 \times 2 \times 1) + (1 \times 10) + (0/08 \times 2 \times 20) = 14/6 \text{ Sv}$$

### *Tissue Weighting Factors ( $W_T$ )*

Tissue or organ	Tissue weighting factor, $W_T$
Gonads	0.20
Bone marrow (red)	0.12
Colon	0.12
Lung	0.12
Stomach	0.12
Bladder	0.05
Breast	0.05
Liver	0.05
Oesophagus	0.05
Thyroid	0.05
Skin	0.01
Bone surface	0.01
Remainder	0.05

Equivalent Dose: •

Used in radiation safety concepts, e.g. calculations for assessment of different exposures

( e.g. neutrons vs. photons, highly vs. sparsely ionizing radiation)

Effective Dose: •

Used to describe the biological effect of different types of radiation and different tissues and organs exposed

واحد دوز معادل و دوز موثر یکی است .

# جلسه هفتم

## Relative Biological Effectiveness (RBE)

$$RBE = \frac{\text{Dose of standard radiation to produce....}}{\text{Dose of test radiation.....}}$$

RBE با دوز نسبت معکوس دارد.

" به نوع بافت خیلی بستگی دارد .

" به اثرات بیولوژیکی نیز خیلی مربوط است .

" به دوز جذبی و نوع تابش نیز بستگی دارد .

### Properties:

Relative RBE of one radiation type to another is the inverse ratio of doses to achieve the same biological end-point. ■

RBE is highly tissue specific and depends on the biological effect as well. ■

RBE depends on the absorbed dose as well as the radiation type. ■

---

### Radiation Weighting Factor and RBE ■

$W_R$  is related to the linear energy transfer (LET) of the radiation (i.e. energy deposited per unit path length). ■

The radiation weighting factor ( $W_R$ ) in radiation protection is analogous to the relative biological effectiveness (RBE) in radiobiology. ■

$W_R$  is a quick and rough reference to indicate the severity of the effect as it is independent of the organ or tissue or of the biological end-point. ■

- 
- ↑ LET      ←      ↑  $W_R$  •
- $W_R$  در حفاظت در برابر اشعه خیلی مورد استفاده قرار می گیرد .
  - $RBE$  بیشتر در علم رادیوبیولوژی مورد استفاده قرار می گیرد .
  - برای فهمیدن آسیب اشعه بر بدن  $W_R$  شاخص خوبی است.
-

## جـلسه هفتم

- اشعه X و الکترون انرژی خود را با آهنگ کمی واگذار کرده و ردپای پراکنده دارند .
- ذرات سنگین و نوترون آهنگ زیاد و ردپای متراکم دارند .
- اثر رادیوبیولوژیکی به آهنگ از دست دادن انرژی بستگی دارد یعنی :

$$\text{RBE} \uparrow \quad \leftarrow \quad \text{LET} \uparrow$$

### *Beam radiobiological properties (summary)*

- X-rays and electrons have a low rate of energy loss and sparse tracks.
- Heavy charged particles and neutrons have a high rate of energy loss and dense tracks.
- Radiobiological effects depend on the rate of energy loss and therefore RBE increases with LET.

\*از fluence ، energy fluence و exposure برای توصیف Beam استفاده می شود .

\*از Dose و Kerma برای فهمیدن چگونگی بر هم کنش فیزیکی پرتو با ماده استفاده می شود .

\*از Equivalent Dose و Effective Dose برای فهمیدن خطر رادیوبیولوژیکی استفاده می شود .

### *Radiation quantities (summary)*

Name	Application
Fluence, Energy Fluence, Exposure	Beam Descriptors
Dose, Kerma	Physical interaction of beam with matter
Equivalent Dose, Effective Dose	Radiobiological hazard

استفاده دوزیمتری در :

- Radiation safety (حفاظت در برابر اشعه)
- External beam therapy



# جلسه هفتم

## - Brachytherapy

### RADIATION DOSIMETRY

$$D = Q \times N_x \times \text{Correction factors}$$

Q باری که خوانده می شود

$N_x$  فاکتور کالیبراسیون است. کالیبره کردن یعنی ما عددهایمان را نسبت به یک استاندارد بسنجیم.

مراکز استاندارد اولیه، مراکزی هستند که فقط در بعضی از کشورها مثل آمریکا و کانادا و... وجود دارد و اطلاعات را برای مراکز استاندارد ثانویه کالیبره می کند.

مراکز استاندارد ثانویه در همه کشورها هست. این مرکز در ایران در کرج واقع شده است. این مراکز با مقایسه اعداد به دست آمده ما و خودشان ضریبی را به دست آورده و به ما می دهند تا ما این ضریب را در عددهایمان ضرب کرده و مقداری استاندارد را به دست آوریم.

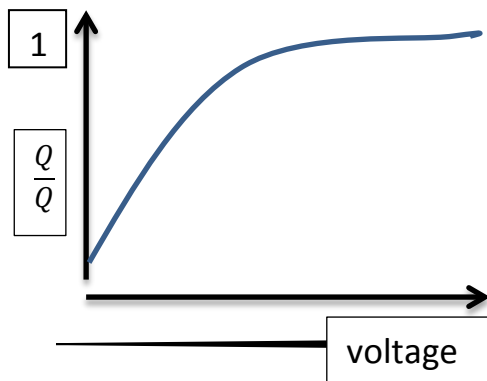
Correction factors (فاکتورهای تصحیح): مهم ترین فاکتور تصحیح دما و فشار است.

در محیط sealed (محیطی که با بیرون در ارتباط نباشد) نیازی به اندازه گیری تاثیر دما و فشار نیست.

$$C_{T,P} = \left( \frac{760}{P} \right) \times \left( \frac{273+T}{273+22} \right)$$

فاکتور تصحیح دیگر تاثیر مربوط به باز ترکیب یون است. اگر اختلاف پتانسیل بین قطب های مثبت و منفی کم باشد و به مقدار کافی نباشد، الکترون های تولیدی به طور کامل جذب نشده و دوباره با بار مثبت ترکیب شده و از بین می روند. به همین دلیل است که برای ولتاژهای مختلف یک ضریب باز ترکیب یون در نظر می گیرند.

هر چه ولتاژ بالاتر عدد خوانده شده درست تر است.



## جلسه هفتم

همان طور که قبلا گفتیم  $X_p = \frac{Q}{m}$

$$X_p = \frac{Q}{\rho \cdot A_p \cdot L} \times \frac{1}{2/58 \times 10^{-4}} \quad \text{بر حسب رونتگن}$$

$A_p$  سطح مقطعی است که به شکل دایره ای است .

اندازه گیری اکسپوژر به این صورت کار مراکز استاندارد اولیه است .

