عنوان درس : بهداشت پرتوها

هدف کلی درس: آشنایی با پرتوی یونساز و غیر یونساز روشهای ارزشیابی و کنترل آنها

مقدمه

- علم پرتوشناسی توسط ویلهلم کنراد رونتگن در هشتم نوامبر ۱۸۹۵ با کشف پرتو ایکس بنا نهاده شد.
- یک سال بعد از آن هانری بکرل، پرتوزایی اورانیوم را کشف کرد.
- تا مدت زیادی کاربرد پرتوها فقط در زمینه پزشکی بود.
- پیشرفت تکنولوژی و شکست و پیوند اتمها باعث تحولات عظیمی در کاربرد پرتوها در صنعت و بخش انرژی و.... گردید.
- وسعت کاربرد پرتوها، تماسهای وسیع و خطرناک با این عامل را برای نسل بشر به ارمغان آورد.
- اثرات سوء پرتوها ، مخصوصاً در حوداث و انفجارات چهره خود را نشان داد.
- سود ومزایای کاربرد پرتوها آنقدر زیاد بوده و هست که نمی توان از استفاده آن چشم پوشید، مضافاً بر اینکه انسان بطور طبیعی نیز در معرض پرتوهای کیهانی و پرتوهای تابش شده از منابع طبیعی نیز قرار داشته، لذا 2سازمانهای حفاظتی شکل گرفته و در خصوص روشهای مختلف حفاظت از پرتوها به فعالیت پرداختند.

تاریخچه پرتوهای یونساز

- رونتگن ۱۸۹۵ اشعه ایکس را کشف کرد و در ۱۸۹۶ E. Frost اولین دستگاه تشخیص اشعه ایکس را ساخت. دو سال بعد اولین تصویر از جنین در رحم توسط اشعه ایکس گرفته شد.
- مدت کوتاهی بعد اشعه ایکس در دندانپزشکی استفاده شد.
- بزودی اثرات مضر اشعه ایکس گزارش شد. (Adverse health effects of x rays were soon reported)
- توماس ادیسون ضایعه چشمی پیدا کرد.
- دانیل: ریزش مو alopecia و سرخی پوست erythema بعد از ۳ هفته رادیوگرافی پیدا کرد.

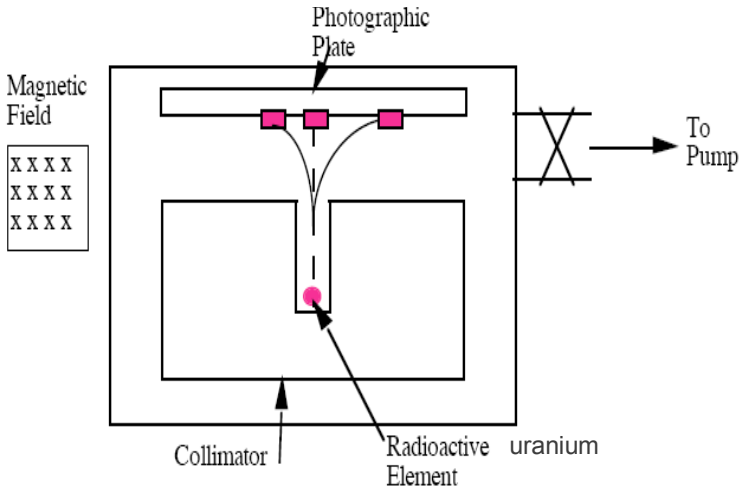
تاریخچه پرتوهای یونساز

- در نوامبر ۱۸۹۶ هنری بکرل خاصیت رادیو اکتیوتیه را کشف کرد.
- مطالعات بعدی نشان داد که تشعشع آلفا، بتا و گاما وجود دارد.
- در ۱۸۹۸ اشمیت توریم را کشف کرد. (thorium (Th)
- در ۱۸۹۸ پولونیوم (polonium (Po) از سنگهای اورانیوم پیر و ماری کوری را بدست آوردند. کوریها بعدها رادیم را نیز از سنگهای معدنی اورانیم استحصال کردند. نهایتاً واژه رادیو اکتیو را بر آنها نهادند.

تاریخچه پرتوهای یونساز

- ویلارد اشعه گاما را شناسایی کرد.
- رادرفورد گاز توریم را ناشی از رادیو اکتیویته شناخت. و واژه نیمه عمر را بنا نهاد. و از ذرات آلفا برای توسعه تئوریکی مدل اتم استفاده کرد.
- پلانک تئوری کوانتومی را پیشنهاد داد.
- اینشتن رابطه بین انرژی و جرم و اثرات فتوالکتریک را کشف کرد.
- هس اشعه کیهانی (cosmic rays) را در ارتفاعات بالا گزارش کرد .

Discovery of radioactivity



تفسیر تجربیات رادرفورد بر ورقه طلا

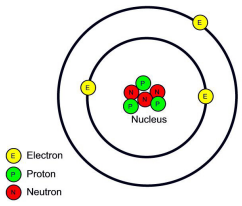
- ذرات با بار مثبت را کشف کرد که آن‌ها را پرتون نامید
- پروتون باری مشابه اما عکس الکترون دارد اما پروتون بسیار سنگینتر و بزرگ‌تر از الکترون است.
- در ۱۹۳۲ جیمز چادویک سومین ذره زیر اتمی را کشف کرد و آنرا نوترون نامید.
- نوترونها به پایداری پروتونها در اتم کمک می کنند.

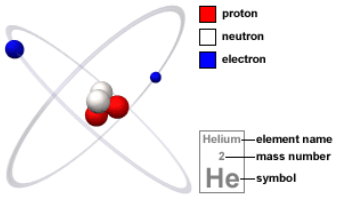
مدل اتمی

لیتیم:

- ۳ پروتون
- ۳ نوترون
- ۳ الکترون

- هلیوم
  - ۲ پروتون
  - ۲ نوترون
  - ۲ الکترون





مدارهای الکترونی

- الکترونها بر روی مدارهای مختلفی می چرخند.
- تعداد مدارها در اتمهای مختلف متفاوت است.
- لایه های الکترونی نسبت به نزدیکیشان به هسته عبارتند از: K,L,M,N,O,P,Q.
- الکترونها بر روی مدارهای مختلف دارای انرژی معینی هستند (انرژی همبستگی Binding Energy).
- هر چه الکترون در مدارهای داخلی تر قرار گیرد انرژی همبستگی بیشتری خواهد داشت.
- تعداد الکترون در هرمدار از اصل پاولی تبعیت میکند و تعداد آن ۲، ۸، ۱۸، ۳۲ و... می باشد.

اعداد کوانتومی

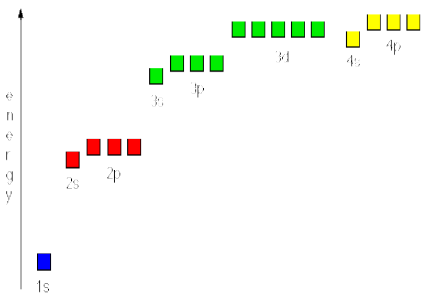
Name	Symbol		
Principal Quantum Number (اصلی)	n	K, L, M, N, O, P, Q	
Azimuthal Quantum Number (سمتی)	L	S, P, D, F, G	
Magnetic Quantum Number (مغناطیسی)	m_L	Number of orbitals	
Spin Quantum Number (چرخشی)	m_s	Spinning direction	

اربیتالها و الکترونها

Number of Electrons	Number of Orbitals	Orbital name	n
2	1	1s	K, 1
2	1	2s	L, 2
6	3	$2p_x$	
2	1	3s	
6	3	3p	M, 3
10	5	3d	
4	1	4s	
6	3	4p	N, 4
10	5	4d	
14	7	4f	
2	1	5s	
6	3	$5p_x$	
10	5	5d	O, 5
14	7	5f	
18	9	5g	

ترتیب پر شدن اربیتالها

7s •
6p •
5d •
4f •
6s •
5p •
4d •
5s •
4p •
3d •
4s •
3p •
3s •
2p •
2s •
1s •



ذرات بنیادی دراتم

- ذرات بنیادی اتم عبارتند از الکترون ، پروتون ، نوترون، فوتون ، مزون و... که حدود ۲۰ پارتیکول و آنتی پارتیکول جزء ذرات بنیادی اتم می باشند.
- مشخصات ذرات:
  - الف: بر حسب جرم در حال سکون : (یعنی تقریبا در عمل می توان جرم الکترون را با سرعت دادن تقریبا تا اندازه ۵۰ برابر افزایش داد)

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

جرم ذره در حال سکون — m_0

جرم ذره در حال حرکت — m

سرعت ذره — v

سرعت نور — c

مشخصات ذرات

ب: بر حسب بار الکتریکی : مثبت، منفی و خنثی

ج: از لحاظ اسپینی : +1, ½ ,0

د: از لحاظ عمر متوسط :

پروتون و الکترونها پایدار

نوترون نا پایدار (نیمه عمر 12 دقیقه)

سایر ذرات بنیادی نیمه عمر بسیار کم (در حدود 1E-6 ثانیه و یا کمتر دارند)

ساختار اصلی اتم

- **اتم:** کوچکترین جزئی که خواص عنصر شیمیایی را در خود دارد. شعاع آن ۱ تا ۵ انگستروم است. **1-5 A°**
- **هسته:** یک جرم زیاد با بار مثبت در مرکز اتم. که ترکیبی از پروتون و نوترون است و جرم آن با جرم اتم تقریباً برابر است و قطر آن 10^{-14} متر است.
- **الکترون:** یک ذره زیر اتمی با بار منفی **1.60×10^{-19}** coulombs و جرم **9.11×10^{-31} kg**
- **پروتون:** یک ذره زیر اتمی با بار مثبت برابر الکترون و جرم 1.60×10^{-19} این ذره جای قرار گیری ذره را در جدول تناوبی نشان می‌دهد.
- نوترون: بدون بار با جرمی برابر 1.675×10^{-27} kg

ساختمان اتم

هراتم دارای دو قسمت زیر میباشد :

- هسته (با شعاعی حدود 10E-12 سانتی متر).
- ابر الکترونی (از الکترونهای متحرک و شعاع مدار الکترونی 10E-8 سانتی متر).

طبق مدل اتمی بوهر نحوه قرار گرفتن هسته و الکترونها مانند سیستم خورشیدی است.

- جرم الکترونها نسبت به هسته بسیارکم و برابر 9.1x10E-31 (تقریباً میتوان گفت تمام جرم اتم در هسته متمرکز است).
- بار الکتریکی الکترونها منفی و بار الکتریکی هسته مثبت (در شرایط عادی اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است).
- ذرات تشکیل دهنده یک اتم توسط نیروهای الکتروستاتیکی به هم مربوط میباشند.

ساختمان اتم (ادامه)

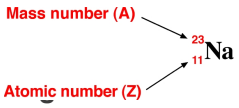
- بین هسته و الکترونها بعلت تفاوت باراالکتریکی شان نیروی جاذبه وجود دارد.
- نیروی گریز از مرکز ناشی از حرکت الکترونها روی مدار باعث بقاء الکترونها در مدارهای خود گشته و اجازه نمی دهد الکترونها بسمت هسته حرکت کنند.
- بدیهی است هرچه الکترون به هسته نزدیک تر باشد نیروی الکتروستاتیکی جذب به مرکز بیشتر خواهد بود، لذا بایستی نیروی گریز از مرکز نیز بیشتر باشد. که این سرعت و نهایتاً انرژی بالاتری را می طلبد که خود ایجاد کننده سطوح مختلف انرژی در اطراف هسته می گردد.
- بین الکترونها نیز نیروئی وجود دارد که آنها را در فواصل معینی نسبت به هم نگه می دارد (حرکات اسپینی).
- به این جهت الکترونها دارای سه نوع حرکت می باشند (انتقالی، دورانی ونوسانی).

ساختمان اتم (ادامه)

- نوع اتمها از نظر ذرات تشکیل دهنده هسته و تعداد الکترونها با هم فرق میکند.
  - هر اتم با عدد اتمی Z (تعداد الکترون یا پروتون) مشخص می شود.
  - خواص شیمیائی هراتم مربوط به الکترونهای موجود در آن است.
- هسته اتم:
  - در هسته دو نوع ذره اساسی و مهم به نامهای پروتون و نوترون وجود دارد.
  - پروتون دارای بار مثبت و جرم آن 1.6725E-27 کیلوگرم است.
  - نوترون از نظر بار الکتریکی خنثی است و جرم آن 1.6748E-27 کیلوگرم است.
  - لذا نوترون وپروتون از نظر جرم تقریباً با هم برابر و حدود 1900 برابر جرم الکترون است.
- کمیت دیگری که درساختمان اتم مطرح است عدد جرمی (A) است که مجموع پروتونها و نوترونهای هسته است.

Atomic and mass numbers

- **عدد اتمی:**
- **Atomic Number (Z)**
- **برابر تعداد پرتونها و با علامت** Z
- **Mass number (A):**
- جرم اتمی تقریباً برابر جرم هسته.
- ***A= Z+N*** and ***N = A-Z***



A) 238(

Z) 92(

هسته و ساختار آن

- هسته متشکل از پروتونها و نوترونها است که آنها را نوکلئونها می نامند؛ که خود از ذرات بنیادی به نام کوارک تشکیل شده اند.
- نیروی هسته ای :
  - وجود پروتونها در داخل هسته به معنی وجود یک نیروی الکتروستاتیک دافعه می باشد.
  - علت قرار گیری این ذرات کنار همدیگر ، علیرغم وجود نیروی دافعه فوق ، وجود یک نیروی قوی بین نوکلئونها می باشد که به آن نیروی هسته ای میگویند.
  - نیروی هسته ای از کاهش جرم ذرات موجود در هسته (تبدیل جرم به انرژی) ایجاد می گردد. بعبارتی همواره مجموع جرم نوکلئونهای تشکیل دهنده هسته بیش از جرم هسته است. این کاهش جرم (انرژی معادل این جرم) تأمین کننده نیروی هسته ای می باشد.
  - نیروی هسته ای از نوع جاذبه با برد کوتاه (در حدود ابعاد هسته) و مستقل از بار الکتریکی می باشد. لذا نیروی بین نوکلوئونها یعنی n-n، p-p و p-n یکسان می باشد.

ترازهای انرژی ذرات

- یکی از مدلهای ساده و مفید جهت ارائه ساختار هسته، ساختاری است شبیه به آرایش الکترونها در لایه های مختلف انرژی.
- در این مدل نوکلوئونها در لایه های مختلف انرژی قرار دارند (لازم به ذکر است که حرکت الکترونها در مدار در مدل اتمی را به مدل هسته ای نمیتوان تعمیم داد)
- در مدل هسته ای بایستی ترازهای انرژی را با حداکثر تعداد در هر تراز انتخاب نمود.
- در مورد هسته ها می توان آرایش به ترتیب 2، 8 ، 20 ، 50 ، 82 و... را در نظر گرفت.
- در برخی تئوریها محل قرارگیری نوترونها و پروتونها را در لایه های مجزا می دانند.

ترازهای انرژی ذرات (ادامه)

- اگر هسته ای دارای لایه های پر باشد، پایداری آن افزایش می یابد. مانند هسته هلیوم که دو پروتون و دو نوترون دارد (علت اینکه در فروپاشی عناصر آلفا دهنده هسته هلیوم بصورت یک ذره خارج میشود همین پایداری می باشد)
- بر طبق این مدل هر ذره در هسته دارای جایگاه انرژتیک خاص است.
- در حالت عادی معمولاً همه هسته ها در حالت پایه قرار دارند
- در صورتی که به دلیلی جایگاه انرژتیک ذرات موجود در هسته تغییر کند، هسته به حالت بر انگیخته در می آید.

Periodic table

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No

طبقه بندی هسته ها

- معمولاً هسته را با نماد اتم یعنی ${}^{A}_{Z}X$ نشان میدهند.
- مثلاً ${}^{31}_{15}P$, ${}^{32}_{15}P$ نشانگر دو هسته عنصر فسفر میباشد.

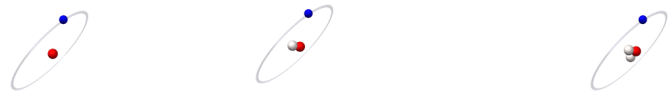
الف: طبقه بندی بر اساس تساوی اعداد پروتونی، نوترونی و جرمی :

- ایزوتوپها : هسته هائی هستند که تعداد پروتونهای آنها یکسان است مثل : ${}^{3}_{1}H$, ${}^{2}_{1}H$, ${}^{1}_{1}H$ ایزوتوپهای هیدروژن

${}^{233}_{92}U$, ${}^{234}_{92}U$, ${}^{235}_{92}U$, ${}^{238}_{92}U$ ایزوتوپهای اورانیوم

طبقه بندی هسته ها

- Isotope:
- تعداد پروتون برابر و تعداد نوترون متفاوت (خواص شیمیایی مشابه) بنابراین عدد اتمی Z مساوی دارند اما A متفاوت است.
- بطور طبیعی هر عنصر از چندین ایزوتوپ تشکیل شده مانند روی که ۱۰ ایزوتوپ دارد.
- IUPAC: helium-3, carbon-12, carbon-13, iodine-131 and uranium-238 or in symbolic forms of 3He, 12C, 13C, and 238U .
-



طبقه بندی هسته ها
(ادامه)

- ایزوتونها:هسته هائی هستند که تعداد نوترونهای آنها یکسان است. مثل :

$^{3}_{1}H,\ ^{4}_{2}He$

$^{13}_{6}C,\ ^{14}_{7}N$

- ایزوبارها: هسته هائی هستند که عدد جرمی آنها برابر ولی مقدار پروتونها و نوترونهای متفاوتی دارند. (خواص شیمیائی متفاوتی دارند) مثل :

$^{3}_{1}H,\ ^{3}_{2}He$

$^{24}_{12}Mg,\ ^{24}_{11}Na$

طبقه بندی هسته ها
(ادامه)

- ایزومرهای آینه ای: تعداد پروتونهای یک هسته با تعداد نوترونهای هسته دیگر مساوی است. مثل:

$^{3}_{2}He,\ ^{3}_{1}H$

$^{14}_{7}N,\ ^{13}_{6}C$

- ایزومرهای هسته ای:
  - عدد جرمی و عدد اتمی یکسان ولی خواص هسته ای (از نظر نیمه عمر و ترازهای انرژی)متفاوت است.
  - ایزومر با انرژی بالاتر در یک حالت metastable بوده و با نوشتن m پس از عدد جرمی مشخص میشود. مثلاً $^{99m}_{43}Tc$ (با نیمه عمر 6 ساعت) و $^{99}_{43}Tc$ (با نیمه عمر 2.1E5 سال) ایزومرهسته ای یکدیگر هستند.

طبقه بندی هسته ها
(ادامه)

ب: طبقه بندی بر اساس پایداری (ناپایداری) هسته

- ✓ هسته هایی که بدلیل ترکیب ناپایدار پروتونها و نوترونها و یا ایزومرهای با انرژی بالاتر پایدار نیست، دستخوش واپاشی میشوند. اینگونه هسته ها ذاتاً ناپایدار بوده و با گذشت زمان تغییر نموده و به هسته های جدیدی تبدیل می شوند.
- ✓ هسته های پایدار آن دسته از هسته هایی هستند که برای همیشه ثابت هستند (حداقل برای 1E21) بدون توجه به اینکه الکترونهای اتم آنها ممکن است تغییر وتحول پیدا کنند. (تعدادی از عوامل موثر در پایداری هسته ها در صفحات 21 تا 23 کتاب ارائه شده است)

طبقه بندی هسته ها

- **Isobar**: $A = A'$, $Z \neq Z'$, $N \neq N'$ (239 U and 239 Np)
- **Isotone:** Two nucleuses having same number of neutrons. For example, Boron-12 and Carbon-13, both have 7 Neutrons

'A ≠ A,, Z≠Z', N =N

- **Nuclear isomer**

is a metastable state of an atomic nucleus caused by the excitation of one or more of its protons or neutrons or both. A nuclear isomer occupies a higher energy state than the corresponding non-excited nucleus, called the ground state. The nuclear isomer will sooner or later release the extra energy and decay into the ground state. (Technetium ^{99m}Tc to ^{99}Tc)

- **Atomic mass unit (amu):** A unit of mass equal to 1/12 the mass of the most abundant isotope of carbon, carbon 12, which is assigned a mass of 12.

$$\text{amu} = \left(\frac{1}{12}\right) \times \left(\frac{12}{6.02 \times 10^{23}}\right) = 1.6604 \times 10^{-24}\ \text{g}$$

Nuclear size and density

$$R = r_{\circ} A^{\frac{1}{3}}$$

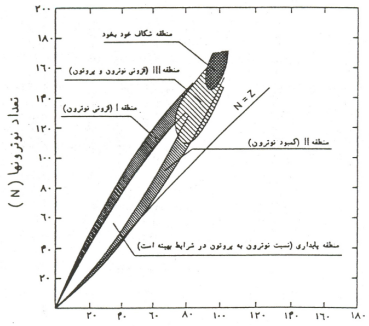
$r_{\circ}$ = 1-1.4 Fermi (Fm) and 1 Fm = 10^{-15} m
A = Mass number

.the radius of a gold nucleus is approximately 8.45 fermis

Nuclear density is the density of the nucleus of an atom, averaging about 10^{18} kgm^{-3}

نمودار Segre

- از رسم تعداد نوترونها بر حسب تعداد پروتونها نمودار زیر که به **نمودار سگره** معروف است، حاصل می شود.



شکل ۴ ـ دیاگرام پایداری هسته‌ها

مواد رادیواکتیو

- رادیواکتیویته خاصیت هسته بعضی از اتمهایی است که خود بخود از آنها انرژی ساطع می شود.
- هسته اتمهای رادیواکتیو دائماً در حال دگرگونی و تجزیه هستند.
- ایزوتوپهای ناپایدارو ایزومرهای هسته ای ، مواد رادیواکتیو را تشکیل می دهند.

مواد رادیو اکتیو

- رادیو نوکلوئیدهای موجود در محیط را از نظر منشأ آنها میتوان به دو گروه کلی نقسیم نمود :

1. رادیونوکلوئیدهای مصنوعی Man-Made Radio nuclides
2. رادیو نوکلوئیدهای طبیعی Natural Radio nuclides

گروه اول به خواست و اراده انسان تولید می شوند (همچون محصولات شکافت هسته). مانند :

$$^{137}Cs,\ ^{131}I,\ ^{85}Kr,\ ^{106}RU,\ ^{95}Zr$$
$$^{242}Cm,\ ^{241}Am,\ ^{239}Pu,\ ^{90}Sr,\ ^{144}Ce$$

رادیو نوکلوئیدهای طبیعی کلیات

- رادیو نوکلوئیدهای طبیعی در غلظتهای کم و بیش یکسان در سطح کره زمین منتشر می باشند.
- برخی نقاط جهان دارای غلظتهای بیشتر از نرمال می باشند.
- انسان نیز نقش مؤثری در افزایش رادیونوکلوئیدهای مناطق مختلف دارد.
- علاوه بر فعالیت های هسته ای از جمله مواردی که در آلایندگی محیط زیست به رادیو نوکلوئیدها مؤثر است عبارتند از:

1. نیروگاههای سوختهای فسیلی (عمدتاً ذغال سنگ) که در بسیاری موارد ذغال سنگها حاوی این رادیو نوکلوئیدها بوده و خاکستر منتشره محیط را آلوده به این رادیونوکلوئیدها می نماید.
2. کودهای فسفر دار (دارای غلظت قابل اهمیتی از اورانیوم می باشند).
3. گاز طبیعی (به ویژه در منازل) بدلیل انتقال گاز رادن ۲۲۲ از اعماق زمین به سطح.
4. مصالح ساختمانی (برخی از آنها غنی از رادیونوکلوئید ها می باشند).

رادیو نوکلوئیدهای طبیعی

- موادی هستند که از بدو خلقت کره خاکی در طبیعت وجود داشته و یا حاصل پدیده های طبیعی در عالم می باشند.
- این رادیونوکلوئیدها را به دو دسته تقسیم بندی می کنند.

1. رادیو نوکلوئیدهای اولیه (Primordial radionuclide):
2. رادیونوکلوئیدهای دارای منشأ کیهانی(Cosmogenic Radionuclide) : حاصل برخورد پرتوهای کیهانی (Cosmic rays) با هسته اتم عناصر موجود و در اتمسفر زمین بوده و بطور مستمر تولید می شوند. مهمترین این رادیو نوکلوئیدها ترتیوم و کربن ۱۴ می باشد.

رادیو نوکلوئیدهای اولیه

- این را دیونوکلوئیدها دارای منشأ تحت الارضی بوده و به آنها رادیونوکلوئیدهای تحت الارضی (Terrestrial) نیز می گویند و بدو شکل وجود دارند:

1. انفرادی Singly occurring Radionuclide
2. زنجیره ای (مهمترین آنها زنجیره اورانیوم ۲۳۸ و توریوم ۲۳۲ است)

رادیو نوکلوئیدهای طبیعی
رادیونوکلوئیدهای انفرادی

- دو عنصر شناخته شده بطور انفرادی در طبیعت یافت می شوند :

1. پتاسیم ۴۰ که یک ماده رادیو اکتیو است و بطور متوسط در بدن انسان ۱۶۰۰ پیکو کوری به ازاء هر کیلوگرم وجود دارد. در صخره و خاک بین ۲ تا ۳۰ پیکوکوری بر گرم وجود دارد. نیمه عمر این ماده ۱.۲۶ میلیارد سال است که دربین رادیونوکلوئیدهای اولیه موجود کمترین میزان نیمه عمر را دارا میباشد. ۹۰٪ پتاسیم ۴۰ در اثر تجزیه و تابش بتای منفی به کلسیم ۴۰ پایدار و بقیه با تابش آلفا و گاما (با انرژی ۱.۴۶ Mev) به آرگون ۴۰ تبدیل می شود.
2. روبیدیوم ۸۷ نیز یک ماده رادیو اکتیو است که بطور انفرادی در طبیعت وجود دارد. نیمه عمر آن ۴۸ میلیارد سال است. در صخره و خاک بمیزان ۳ پیکوکوری بر گرم و در بدن انسان به میزان ۲۳۰ پیکو کوری بر کیلوگرم موجود است. این عنصر از نظر تشعشعات اهمیت زیادی ندارد؛ زیرا هنگام تجزیه، بتای ضعیفی تابش نموده و سرانجام به استرانسیوم ۸۷ تبدیل میشود.

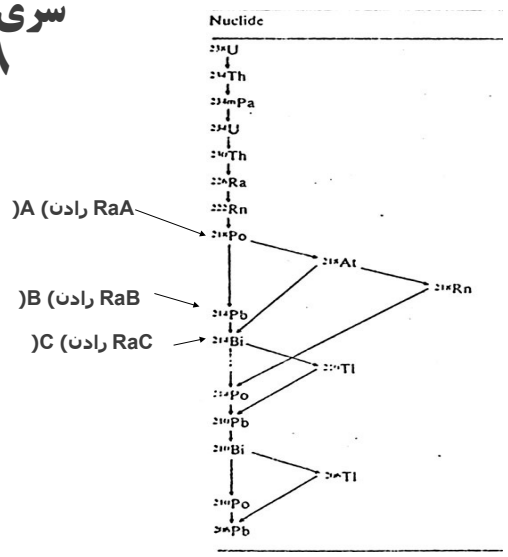
رادیو نوکلوئیدهای طبیعی
رادیونوکلوئیدهای زنجیره ای

- در حال حاضر سه سری از این مواد در طبیعت وجود دارند که به زنجیره های :
- 238U سری اورانیوم) (معروف به سری 4n+2)
- 235U سری اکتینیوم) (معروف به سری 4n+3)
- 232T سری توریوم) (معروف به سری 4n)
- معروف می باشند. البته یک سری زنجیره ای دیگر نیز متصور است که در حال حاضر در طبیعت موجود نمی باشد :
- 241PU سری نپتونیوم) (معروف به سری 4n+1)

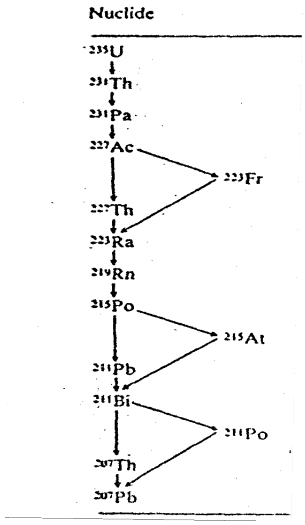
سری نپتونیوم

- 241PU که سر سلسله این گروه است دارای نیمه عمری معادل ۱۳ سال است .که طبیعتاً اگر در ابتدای پیدایش کره زمین وجود داشته تاکنون از بین رفته است البته این ماده را از بمباران نوترونی 239PU می توان تولید کرد.
- دراز عمرترین ایزوتوپ در سری نپتونیوم ایزوتوپ 237NP است که نیمه عمری معادل ۲.۲ میلیون سال است که از عمر زمین بسیار کمتر است و این ماده نیز تا کنون از بین رفته است.

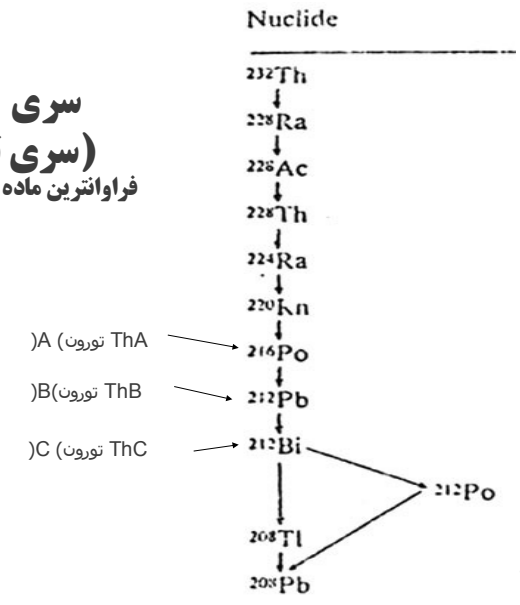
سری اورانیوم ۲۳۸



سری 235U (سری اکتینیوم)



سری 232Th (سری توریوم)
فراوانترین ماده رادیواکتیو طبیعی



عمده مواد رادیو اکتیو طبیعی موجود (از سه سری زنجیره ای)

- خصوصیات مشترک سه سری زنجیره ای موجود :
- همگی از یک عنصر سنگین با نیمه عمر بالا و تابش کننده آلفا شروع می شوند (که این در خصوص سری نپتونیوم که تابش کننده بتاست و نیمه عمر پائینی دارد، صادق نیست)
- یکی از عناصر و اولادهای هر یک از سه سری یک گاز است (رادن، اکتینیوم و تورون). سری نپتونیوم هیچ گازی ندارد.
- هر سه سری نهایتاً به عنصر سرب (۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸)پایدار میرسند(عدد اتمی سرب ۸۲ است) (سری نپتونیوم به عنصر پایدار بیسموت ۲۰۹ با عدد اتمی ۸۳ می رسد).

رادیونوکلوئیدها ی دارای منشاء کیهانی

نوکلوئید	هیدروژن 3	بریلیوم 7	کربن 14	سدیم 22
نیمه عمر	12.3 سال	53.6 روز	5730 سال	2.62 سال
تعداد اتمهای تولید شده در واحد زمان (ثانیه) در واحد سطح کره زمین(سانتی متر مربع)	0.25	0.08	2.5	0.00009
میزان وفور جهانی (مگا کوری)	34	1	300	0.01
استراتوسفر و تروپوسفر	8	72	2	27
سطح زمین و بیوسفر	27	8	4	21
اقیانوسها	65	20	94	52

توزیع در صد وفور

مواد رادیو اکتیو مصنوعی

- رادرفورد در سال ۱۹۱۹ از طریق بمباران ازت با ذرات آلفا، اتم دیگری (اکسیژن) را تولید کرد.

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{17}_{8}O + p$$

- عنصر حاصل ایزوتوپ پایدار اکسیژن بود.
- اما بعد ها با تابش آلفا به آلومینیوم ماده ای ایجاد شد که رادیو اکتیو بود.

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{30}_{15}P + n$$

- فسفر ۳۰ رادیواکتیو با نیمه عمر آن ۲.۵۵ دقیقه است.
- مواد رادیو اکتیو مصنوعی را رادیوایزوتوپ نیز می نامند.

طرق تهیه رادیو ایزوتوپها

- الف: **واکنشهای هسته ای**:
  - اثر فوتون:
    - برخورد فوتونهای قوی به هسته عناصرگاهی سبب خروج نوترون و یا افزایش سطح انرژی هسته شده و تولید ایزوتوپ ناپایدار و یا ایزومر هسته ای عنصر را می نماید. بازده این واکنش خیلی کم و از لحاظ عملی قابل استفاده نمی باشد.
  - ذرات باردار:
    - ازذرات سریع باردار مثل آلفا، پروتون و دوترون استفاده کرده و آنها را در شتاب دهنده سرعت داده و بعد عنصر هدف را بمباران می کنند.
    - امروزه دستگاه هایی وجود دارد که انرژی ذرات را تا چندین میلیارد الکترون ولت بالا می برد.

$$^{12}_{6}C + p \rightarrow ^{13}_{7}N + \gamma$$

$$^{23}_{11}Na + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{24}_{11}Na + p$$

$$^{25}_{12}Mg + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{28}_{13}Al + p$$

طرق تهیه رادیو ایزوتوپها
واکنشهای هسته ای (ادامه)

- واکنشهای هسته ای با نوترون : استفاده از نوترون رایجترین طریقه برای تولید رادیوایزوتوپهاست. بازده عمل با نوترونهای حرارتی بمراتب بیشتر است.

$$^{32}_{16}S + n \rightarrow ^{32}_{15}P + p$$

$$^{130}_{52}Te + n \rightarrow ^{131}_{53}I + \beta^{-} + \gamma$$

$$^{197}_{79}Au + n \rightarrow ^{198}_{79}Au + \gamma$$

- فسفر ۳۲ اشعه بتای پرانرژی تابش کرده، طلای ۱۹۸ مورد رادیواکتیویته بتا و گاما دارند.

ب: واکنشهای انشقاق: از انشقاق اورانیوم و استحاله های متوالی بعدی قریب ۲۰۰ رادیوایزوتوپ تولید می شود. از عناصر مهم می توان ایزوتوپهای ید، استرانسیوم وباریم، سزیم وگازهای رادیواکتیو نام برد.

- **جنبه های بهداشتی پرتوهای یونساز**

جلسه دوم

کمیات مهم در مواد رادیو اکتیو

نیمه عمر(نشان دهنده نوع ماده رادیو اکتیو)

اکتیویته (نشان دهنده مقدار ماده رادیو اکتیو)

نیمه عمر

- انرژی اضافی موجود در هسته های ناپایدار (ایزومرهای هسته ای و ایزوتوپهای ناپایدار) بتدریج بصورت پرتو پونساز از ساختمان اتم خارج می شود. این عمل آنقدر ادامه پیدا میکند تا عنصر به حالت پایدار می رسد.
- زمان دقیق فروپاشی هیچ عنصری قابل تعیین نیست بلکه باید برای این امر از روشهای احتمالی استفاده کرد.
- مدت زمانی که در طی آن تعداد نیمی از اتمهای ناپایدار تجزیه شوند را نیمه عمر میگویند.
- بعنوان مثال اگر تعداد یک میلیون ذره اتم طلا ۱۹۸ داشته باشیم، بعد از ۲.۷ روز تعداد این اتمها به ۵۰۰ هزار کاهش مییابد.
- نیمه عمر بعضی عناصر کوتاه است همچون گاز تورون (۵۴.۵ ثانیه) و بعضی عناصر همچون اورانیوم ۲۳۸(۴.۵ میلیارد سال) نیمه عمر های بلندی دارند.

نیمه عمر

- اگر بعد ازگذشت زمان Δt تعداد ΔN ذره تجزیه شوند خواهیم داشت:
- ثابت تبدیلي
- $\Delta N = -\lambda N \Delta t \Rightarrow \int \frac{dN}{N} = \int -\lambda dt$
- $\Rightarrow L_n N = -\lambda t + c$
- اگر در لحظه t=0 میزان C را برابر N_0 قرار دهیم، خواهیم داشت: $L_n N_0$
- $L_n N = -\lambda t + L_n N_0 \Rightarrow L_n N - L_n N_0 = -\lambda t$

$$L_n\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

نیمه عمر

- طبق تعریف نیمه عمر داریم:
-

$$N = \frac{N_0}{2} \Rightarrow T = T_h$$

$$\Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_h} \quad and \quad e^{-0.693} = 0.5$$

$$-\lambda T_h = -0.693$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{T_h}$$

- ارتباط بین ثابت تبدیلي و نیمه عمر

نیمه عمر

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \ \lambda = \frac{0.693}{T_h}$$

$$\Rightarrow N = N_0 e^{\frac{-0.693 \times t}{T_h}}$$

$$\Rightarrow N = \frac{N_0}{\left(e^{0.693}\right)^{t/T_h}} \Rightarrow N = \frac{N_0}{2^{t/T_h}}$$

اکتیویته

- تعداد هسته هائی که در واحد زمان تجزیه می شوند را فعالیت یا اکتیویته یک ماده رادیواکتیو می نامند.
- هر چه مقدار ماده بیشتر باشد طبیعتا مقدار تجزیه آن بیشتر خواهد بود.
- واحد های اکتیویته عبارتند از کوری Ci و بکرل
- کوری Ci: آن مقدار ماده رادیو اکتیو که بتواند در یک ثانیه 3.7×10^{10} فروپاشی انجام دهد را یک کوری می گویند. همانطور که مشخص است کوری واحد بزرگی است و معمولا واحد های کوچکتر آن مثل میلی کوری و میکرو کوری استفاده میشود.
- بکرل Bq: آن مقدار ماده رادیو اکتیو که بتواند در هر ثانیه یک فروپاشی انجام دهد را یک بکرل میگویند. این واحد درواقع واحد فعالیت در سیستم MKS است که واحد های بزرگتر آن همچون کیلوبکرل و مگا بکرل نیز معمولا استفاده می شوند. 3.7×10^{10}
- ساده است که بخاطر بسپاریم که هر کوری بکرل است.

اکتیویته

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

- اکتیویته اولیه

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N \implies A = \lambda N_0 e^{-\lambda t},$$

$$A_0 = \lambda N_0 \implies A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$or$$

$$A = \frac{A_0}{2^{t/T_h}}$$

تمرین

هرگاه ۲۲.۶ گرم رادیوم – ۲۲۶ در اختیار داشته باشیم و پس از ده سال میزان ۰.۰۹۶ گرم از آن تجزیه شود. نیمه عمر رادیوم را محاسبه کنید؟
اکتیویته ۲۲.۶ گرم رادیوم چند کوری، میکروکوری ، میلی کوری و بکرل است؟
اکتیویته ماده فوق الذکر پس از ۱۰ سال به چه میزان خواهد رسید؟
اگر بخواهیم اکتیویته این ماده نصف شود باید چند سال صبر کنیم؟
اگر یک کوری از ماده مورد نظر لازم داشته باشیم چند گرم از این ماده را باید تهیه کنیم؟
نیمه عمر اورانیوم –۲۳۸ ، ۴.۵ میلیارد سال است . چه میزان از این ماده اکتیویته یک کوری دارد؟

پرتو

- شکلی از انرژی است که قادر است در محیط یونسازی، تحریک و یا ایجاد گرما نماید.
- این شکل از انرژی می تواند بشکل موج (الکترومغناطیس) و یا ذره در محیط منتشر شده و انرژی خود را منتقل نماید.
- این دوشکل پرتو از لحاظ انرژی، محاسبات و نحوه انتشار، برخوردها و همچنین مکانیسمهای صدمه رسانی با یکدیگر متفاوت هستند.

پرتوهای ذره ای

- اگر ذرات موجود در ساختمان اتم (الکترونها، پروتونها و یا نوترونها و ..) از ساختمان اتم خارج شوند، پرتو ذره ای نامیده میشود.
- انرژی در پرتوهای ذره ای از رابطه انرژی جنبشی $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ میآید (چون این دسته از پرتوها دارای جرم و همچنین سرعت هستند)
- انرژی فوق را میتوان از حاصلضرب بار الکتریکی e در اختلاف پتانسیل V نیز بدست آورد. بهمین دلیل یکی از واحدهای مهم در این دسته از پرتوها اکترون ولت میباشد.
- ev الکترون ولت): آن میزان انرژی است که یک الکترون در یک اختلاف پتانسیل)۱ .ولت خواهد داشت

$$ev = 1(v) \times 1.6 \times 10^{-19}(C) = 1.6 \times 10^{-19}(J) = 1.6 \times 10^{-12}$$

پرتوهای ذره ای

- انرژی مورد نیاز ذرات جهت پرت شدن به بیرون از ساختمان اتم را معمولاً هسته تامین میکند. در واقع میزان انرژی اضافی و یا عدم تعادل انرژی در هسته بنحوی با انتقال آن به ذره ای و خارج نمودن آن از اتم متعادل می گردد.
- انرژی هسته ای موجود در هسته با کاهش جرم ذرات موجود در آن مخصوصاً نوترون تامین می گردد. میزان کاهش جرم در هسته با استفاده از رابطه انشتین به انرژی تبدیل می گردد. لذا در صورتی که میزان کاهش جرم موجود در هسته مشخص باشد؛ می توان میزان انرژی هسته ای را تعیین نمود.

پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی هسته)

- بررسی پایداری یک هسته مستلزم مطالعه انرژی همبستگی ذرات هسته می باشد که همانطور که گفته شد عبارتست از اختلاف بین مجموع جرمهای پروتونها، نوترونها و الکترونهای مربوط به اتم و جرم حقیقی هسته.
- جرمهای حقیقی در نشریاتی مانند جدول ایزوتوپها در Science Data Books قابل دسترسی هستند.
- در این جداول نام ماده، شماره در جدول مندلیوف، ایزوتوپها، میزان فراوانی ، جرم (بر حسب واحد جرم اتمی) نیمه عمر وجود دارد.
- واحد جرم اتمی (u): یک دوازدهم جرم اتم کربن –۱۲ بوده و مقدار آن $u = 1.660566 \times 10^{-27} kg$ می

پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی هسته)

- هسته ای را که دارای Z پروتون و N نوترون است در نظر میگیریم جرم هسته ای همیشه از مجموع قسمتهای اجزاء تشکیل دهنده هسته کمتر است:
-

$$M_{nuc} < Z_{mp} + N_{mn}$$

$$M_{atom} < Z_{mp} + N_{mn} + Z_{me}$$

- جرم الکترون

پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی هسته)

- مقدار اختلاف جرم همان انرژی بستگی (BE) است. هرچه مقدار انرژی لازم برای شکافتن هسته بیشتر باشد ، هسته به همان اندازه پایدارتر خواهد بود. میزان انرژی را با استفاده از رابطه انشتین میتوان بدست آورد:
-

$$E(Mev) = 931.502 \times \Delta m(u)$$

- اختلاف جرم بر حسب واحد جرم اتمي
- انرژي بر حسب ميليون الكترون ولت

$$m_e = 5.485803 \times 10^{-4}\ u$$

$$m_p = 1.007276\ u$$

$$m_n = 1.008665\ u$$

پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی هسته) مثال

- میزان انرژی بستگی در هسته اتم فسفر ۳۱ را بدست آورید:
- از جدول رادیوایزوتوپها جرم اتم هیدروژن، نوترون و ... قابل حصول است. لذا داریم:
-

15.115375 u — جرم 15 اتم هيدروژن
16.138640 u — جرم 16 نوترون

31.256015 — جرم محاسباتي اتم فسفر 31
30.99376 u — جرم واقعي اتمي فسفر 31

0.262260 u — اختلاف جرم محاسباتي و واقعي
244.2957 Mev — انرژي بستگي هسته

پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی به ازاء هر نوکلئون)

- انرژی بستگی به ازاء هر نوکلئون جهت اندازه گیری پایداری از اهمیت وسژه ای برخوردار است و تا حدودی آنرا میتوان به پتانسیل یونسازی تشبیه نمود. در واقع این کمیت مقدار انرژی لازم جهت جدانمودن یک نوکلئون از هسته میباشد.
-

$$BE_{each\ Nuc} = \frac{BE}{A}$$

-
- بنابر این برای فسفر ۳۱ خواهیم داشت:

$$BE_{each\ Nuc} = \frac{244.159}{31} = 7.88\ \ Mev$$

-
- بجز هلیوم ، کربن و اکسیژن برای سایر مواد میزان انرژی به ازاء یک نوکلئون بین ۷.۵ و ۹ مگا الکترون ولت قرار می گیرد.

پرتوهای ذره ای

- پرتوهای ذره ای بدو دسته تقسیم می شوند:
- پرتوهای ذره ای باردار: ذرات در حال حرکت و یا منتشر شده از اتم حاوی بار الکتریکی هستند مثل الکترون یا پروتون
- پرتوهای ذره ای بدون بار: ذرات در حال حرکت و یا منتشر شده از اتم دارای بار الکتریکی نمی باشند همچون نوترون.

پرتوهای ذره ای باردار

- این پرتو ها شامل :
-
- پرتو آلفا
- پرتو بتا منفی (نگاترون)
- پرتو بتای مثبت (پوزیترون)
- پرتو پروتون
- الکترون

پرتو آلفا

- هسته ایزوتوپ هلیوم (۲ تا پروتون + ۲ تا نوترون).
- جرم بالائی دارد.
- توسط هسته عناصر(ایزوپهای ناپایدار) سنگین تابش می شود.
- پرتوئی تک انرژی است (هر ذره تابش کننده آلفا دارای یک آلفای با انرژی خاص می باشد).
- انرژی بالائی دارد.
- دو واحد بار الکتریکی مثبت دارد.
- قدرت یونش ویژه بسیار بالائی دارد.
- انرژی خود را در یک مسیر کوتاه از دست میدهد (برد آن در محیط کم است مثلا برد در هوا در حد چند سانتی متر است).
- خطر پرتوگیری خارجی آن کم است (چون برد آن کم است).
- خطر پرتوگیری داخلی بسیار زیادی دارد (بعنوان مثال با استنشاق گاز رادن ، ذرات آلفای تابش شده از این گاز دقیقاً به سلولهای ریه متصل بوده و بیشترین ضایعه را به این سلولها وارد خواهند آورد).
- از نظر آلودگیهای زیست محیطی اهمیت بسیار زیادی دارد چون بسیاری از آلاینده های طبیعی آلفا دهنده هستند. ضمناً ردیابی آنها بدلیل عمق نفوذ کم بسیار دشوار است.

پرتو آلفا

- معادله واکنش این پرتوبصورت زیر است:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{A-4}_{Z-2}Y$$

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha$$

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}\alpha$$

- از معادلات فوق همچنین برای تعیین میزان انرژی پرتو آلفای ساطع شده می توان استفاده نمود.

پرتو آلفا (نحوه محاسبه انرژی)

- انرژی پرتوآلفا از هسته گرفته شده و با استفاده از کاهش جرم اتفاق افتاده در معادله واکنش می توان انرژی را بدست آورد.
- در واقع از نظر قانون بقای جرم وانرژی باید یا میزان جرم دو طرف معادله با یکدیگر برابر باشند و یا اینکه بخشی از جرم به انرژی تبدیل شده و صرف سرعت دادن به ذره آلفا گردد. که در حقیقت دومین فرضیه درست است. لذا با استفاده از این قاعده و روشهای توضیح داده شده می توان میزان انرژی پرتو آلفا را بدست آورد.
- جرم هر ماده را از جدول مربوطه(جدول ایزوتوپها) بر حسب واحد جرم اتمی پیدا نموده و همچنین جرم پرتو آلفا را میتوان با کمی تقریب مساوی جرم هلیوم ۴ درنظر گرفته وآنرا نیز از جدول ایزوتوپها بدست آورد و با استفاده از رابطه جرم انرژی، میزان انرژی پرتو آلفا را بدست آورد.

پرتو آلفا (نحوه محاسبه انرژی)

مثال

- انرژی پرتو آلفای تابش شده از رادیوم ۲۲۶ را محاسبه نمائید؟
- همانطور که قبلاً نیز اشاره شد معادله فروپاشی این ماده بصورت زیر است:
- همچنین با استفاده از جدول ایزوتوپها جرمهای رادیوم ۲۲۶ و رادن ۲۲۲ و همچنین را آلفا بشر زیر بدست می آید :

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}\alpha$$

$$m_{^{226}Ra} = 226.0254\ u$$

$$m_{^{222}Rn} = 222.0175\ u$$

$$m_{^{4}_{2}\alpha} = 4.00260\ u$$

$$------$$

$$m_{^{226}R} = m_{^{222}R} + m_{^{4}_{2}\alpha} + \Delta m$$

$$\Delta m = m_{^{226}R} - \left(m_{^{222}R} - m_{^{4}_{2}\alpha}\right) \Rightarrow 226.0354 - (222.0175 + 4.00260) = \Delta m$$

$$\Delta m = 0.0053\ u$$

$$E_{^{4}_{2}\alpha} = 0.0053 \times 931.502 = 4.937\ Mev$$

تمرین

هر گاه یک الکترون بطور کامل به انرژی تبدیل شود میزان انرژی آنرا محاسبه کنید؟

میزان انرژی هسته ای U-238 را به دو روش زیر محاسبه و نتایج آنها را با هم مقایسه کنید؟

$$E_{(J)} = m_{(kg)}c^2,$$

$$E_{(Mev)} = m_{(U)} \times 931.502$$

عنوان درس : بهداشت پرتوها

جلسه سوم

حل

هرگاه ۲۲.۶ گرم رادیوم – ۲۲۶ در اختیار داشته باشیم و پس از ده سال میزان ۰.۰۹۶ گرم از آن تجزیه شود. نیمه عمر رادیوم را محاسبه کنید؟

$t = 10 \quad year \qquad m_0 = 22.6 \quad gr, \qquad \Delta m = 0.096 \quad gr \Rightarrow m = m_0 - \Delta m = 22.504 \quad gr$

$$m = \frac{m_0}{2^{\frac{t}{Th}}} \Rightarrow T_h = \frac{t \times \log 2}{\log \frac{m}{m_0}} \Rightarrow T_h \approx \frac{0.3 \times t}{\log \frac{m}{m_0}}$$

$$\Rightarrow T_h = \frac{0.3 \times 10}{\log \frac{22.6}{22.504}} \approx 1620 \quad year$$

حل

اکتیویته ۲۲.۶ گرم رادیوم چند کوری، میکروکوری ، میلی کوری و بکرل است؟

$m = 22.6 \quad gr$

$$A_0 = \lambda N_0 \Rightarrow A_0 = \frac{0.693}{T_h} \times N_0$$

با توجه به جرم اتمی Ra-226 و عدد آووگادرو میتوان تعداد ذره در جرم مورد نظر را بدست آورد

$226 \quad gr \qquad 6.02 \times 10^{23}$

$22.6 \quad gr \qquad N_0 = \frac{22.6 \times 6.02 \times 10^{23}}{226} = 6.02 \times 10^{22}$

$$A_0 = \frac{0.693}{1620 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365} \times 6.02 \times 10^{22} = 8.17 \times 10^{11} \qquad Bq$$

$3.7 \times 10^{10} \qquad 1 \quad Ci$

$8.17 \times 10^{11} \qquad A_0 \approx 22 \quad Ci$

حل

اکتیویته ماده فوق الذکر پس از ۱۰ سال به چه میزان خواهد رسید؟

$$A = \frac{A_0}{2^{\frac{t}{Th}}} \Rightarrow A = \frac{22}{2^{\frac{10}{1620}}} = 21.9 \quad Ci$$

اگر بخواهیم اکتیویته این ماده نصف شود باید چند سال صبر کنیم؟ ۱۶۲۰ سال

حل

اگر یک کوری از ماده مورد نظر لازم داشته باشیم چند گرم از این ماده را باید تهیه کنیم؟

$$A_0 = \lambda N_0 \Rightarrow 3.7 \times 10^{10} \times (60 \times 60 \times 24 \times 365) = \frac{0.693}{1620} \times N_0$$

$N_0 = 2.72766 \times 10^{21}$

$$\Rightarrow m = \frac{N_0 \times 226}{6.02 \times 10^{23}} = 1.024 \quad gr$$

حل

نیمه عمر اورانیوم -۲۳۸ ، ۴.۵ میلیارد سال است . چه میزان از این ماده اکتیویته یک کوری دارد؟

$$T_h = 4.5 \times 10^9 \times (60 \times 60 \times 24 \times 365) = 1.419 \times 10^{27} \quad s$$

$$1(Ci) \times 3.7 \times 10^{10} = \frac{0.693}{1.419 \times 10^{27}} \times N_0 \Rightarrow N_0 = 7.5768 \times 10^{27}$$

$$\Rightarrow m = \frac{N_0 \times 238}{6.02 \times 10^{23}} = 299549.392 \quad gr(299.549392 \qquad kg)$$

حل

$$E = m_{(u)} \times 931 = 5.485803 \times 10^{-4} \times 931 = 0.501 \quad Mev$$

$^{238}U(92p + 146n)$

$m_c = 92 \times 1.007276 + 146 \times 1.008665 = 239.9345U$

$m_r = 238.0508U$

$\Delta m = m_c - m_r = 239.9345 - 238.0508 = 1.8837U$

$E = \Delta m_{(U)} \times 931 = 1.8837 \times 931 = 1753.708 \quad Mev$

$\frac{E}{n} = \frac{1753.708}{238} = 7.368521 \quad Mev/nucleon$

$E_{(J)} = m_{(kg)} c^2,$

$E_{(Mev)} = m_{(U)} \times 931$

حل

$$^{32}P \rightarrow ^{32}S + \beta^-$$

$$m_{^{32}p} = 31.9739U$$
$$m_{^{32}S} = 31.97207U$$
$$\Delta m = 0.00183$$
$$E_{\beta^-} = \Delta m \times 931 = 0.00183 \times 931 = 1.71\ Mev$$

تمرین

اگر فروپاشی کربن ۱۱ بصورت زیر باشد میزان انرژی ماکزیمم بتای مثبت (پوزیترون) را محاسبه کنید؟ (توضیح: هرگاه میزان انرژی در این سری واکنشها از ۱.۰۲ Mev بیشتر شود باید این میزان را برای واکنش زوج پوزیترون-الکترون بطور مجزا محاسبه نموده و آنگاه مازاد این انرژی میزان انرژی ماکزیمم پوزیترون خواهد بود)

$$^{11}C \rightarrow ^{11}B + \beta^+$$

$$m_{^{11}C} = 11.01143U$$
$$m_{^{11}B} = 11.00931U$$
$$\Delta m = 0.00212$$
$$E_{\beta^+} = \Delta m \times 931 = 0.00212 \times 931 = 1.98\ Mev$$
$$1.98 - 1.02 = 0.96\ \ Mev$$

حل

$$^{226}R \rightarrow ^{222}Rn + \alpha^{++}$$

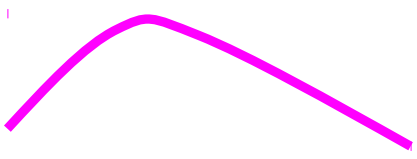
$$m_{^{226}Ra} = 226.0254U$$
$$m_{^{222}Rn} = 222.0175U$$
$$m_{\alpha} = 4.0026U$$
$$\Delta m = 0.006397U$$
$$E_{\alpha} = \Delta m \times 931 = 0.006397 \times 931 = 5.956\ Mev$$

پرتو بتای منفی (نگاترون)

$$n \rightarrow p^+ + \beta^- + ..$$

پرتو بتای منفی (نگاترون)

- طیف انرژی بتا



پرتو بتای منفی (نگاترون)

- در صورتی که در معادله فروپاشی هیچ ذره دیگری بجز بتای منفی و پروتون ایجاد نشود، بیشترین میزان انرژی پرتو بتای منفی را خواهیم داشت.
- هر چه میزان انرژی پرتو نوترینو بیشتر شود میزان انرژی پرتو بتا کمتر خواهد شد.
- برد و قدرت نفوذ بتا در مواد با انرژی ماکزیمم آن رابطه دارد.
- جرم این پرتوبرابر جرم الکترون است.
- میزان انرژی آن از پرتو آلفا بسیار کمتر است.
- دارای یک واحد بار الکتریکی است.
- ومیزان انرژی (یونش ویژه کمتری نسبت به آلفا دارد).
- عمق نفوذ آن از آلفا بیشتر است ولی در کل قدرت نفوذ بالائی در مواد ندارد.
- براحتی می توان جلو پرتوگیری خارجی (بتا) را با یک ورقه آلومینیومی (۳ میلیمتری) گرفت.

پرتو بتای منفی (نگاترون)

- عمده مشکل پرتو بتا در پرتو گیری خارجی دو چیز است:
  - معمولا در فرآیند فروپاشی هسته های بتای منفی دهنده در یک مرحله ماده ناپایدار به پایداری نمی رسد و معمولاً هسته ایجاد شده یک ایزومر هسته ای است که خود تابش کننده گاما است. نمودار فروپاشی کبالت ۶۰ نمونه ای از این مورد است :
  - در صورتی که در مسیرانتشاراین پرتو ماده چگال قرار گیرد، میزان قابل توجهی پرتو ایکس ایجاد خواهد شد.

پرتو بتای منفی (نگاترون)

$${}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{A}_{z+1}Y + \beta^{-}$$

$eg.$

$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^{-}$$

پرتو بتای منفی (نگاترون) محاسبه انرژی

$${}^{32}P \rightarrow {}^{32}S + \beta^{-}$$

$$m_{{}^{32}P} = 31.9739\ u$$

$$m_{{}^{32}S} = 31.97207\ u$$

$$Difference = 0.00183\ u$$

$$E_{\max(\beta^{-})} = mass\ difference \times 931.502$$

$$\Rightarrow E_{\max(\beta^{-})} = 0.00183 \times 931.502 = 1.7\ Mev$$

پرتو بتای مثبت (پوزیترون)

-
-

$$p^{+} \rightarrow n + \beta^{+} + ..$$

پرتو بتای مثبت (پوزیترون)

$${}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{A}_{z-1}Y + \beta^{+}$$

$eg.$

$${}^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + \beta^{+}$$

پرتو بتای مثبت (پوزیترون)محاسبه انرژی

$${}^{11}C \rightarrow {}^{11}B + \beta^{+}$$

$$m_{{}^{11}C} = 11.01143\ u$$

$$m_{{}^{11}B} = 11.00931\ u$$

$$Difference = 0.00212\ u$$

$$E_{\max(\beta^{+})} = mass\ difference \times 931.502$$

$$\Rightarrow E_{\max(\beta^{+})} = 0.00212 \times 931.502 = 1.98\ Mev$$

نوترون

-
-
- $^{27}_{13}AL + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{30}_{15}P + n$
-

نوترون

-
- 3×10^{17}
-

خواص و انواع نوترون

- قابلیت یونسازی نوترون زیاد است ولی یونسازی آن مستقیم نمیباشد.
- یکی از روشهای غیر مستقیم یونسازی فروپاشی نوترون به پروتون و نگاترون است که در واقع این دو ذره هستند که در محیط یونسازی می کنند.
- نوترون در محیط آزاد ناپایدار است (نیمه عمر ۱۲ دقیقه)
- از نظر انرژی به سه دسته تقسیم می شود :
- نوترون سریع.
- نوترون متوسط.
- نوترون کند (حرارتی).

راکتور هسته ای

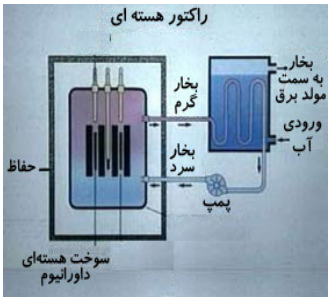
- رآکتورهای هسته ای دستگاههایی هستند که در آنها " شکافت هسته ای" کنترل شده روی می دهد. رآکتورها برای تولید " انرژی الکتریکی" و نیز تولید نوترونها به کار می روند.
- اندازه و طرح رآکتور بر حسب کار آن متغیر است.
- فرآیند شکافت آن است که یک نوترون بوسیله یک هسته سنگین (با جرم زیاد) جذب شده و به دنبال آن به دو هسته کوچکتر همراه با آزاد سازی انرژی تبدیل می گردد. و در پی آن چند نوترون دیگر شکافته میشوند .
- اولین انرژی تولید شده ناشی از شکافت هسته در دسامبر ۱۹۴۲ بدست آمد.با رهبری فرمی ساخت و راه اندازی یک پیل از آجرهای گرافیتی، اورانیوم و سوخت اکسید اورانیوم با موفقیت به نتیجه رسید. این پیل هسته ای در زیر میدان فوتبال دانشگاه شیکاگو ساخته شد که اولین رآکتور هسته ای فعال بود.

تاریخچه کشف شکافت

- طی سالهای ۱۹۳۰ انریکو فرمی و همکارانش در ایتالیا تعدادی آزمایش با نوترون تازه کشف شده انجام دادند.
- استدلال اولیه این بود که نبودن بار الکتریکی بر روی نوترون آن را خصوصاً در نفوذ به داخل هسته موثر می سازد.
- در سال ۱۹۳۶ " ***برایت***" و " ***ویگنر***" نظریه فرآیندهای نوترون های کند را ارائه دادند.
- " فرمی" رفتار آنها را به زبان پدیده های پراکندگی کشسان، اتصالات شیمیایی و جنبش حرارتی مولکولهای هدف توضیح داد. ولی هنوز پدیده شکافت شناخته نشده بود.
- شکافت اتم زمانی شناخته شد که : در سال ۱۹۳۹ " ***هان***" و " ***استرمن***" آلمانی گزارش دادند که باریم را جزء محصولات بمباران نوترونی اورانیوم یافته اند.

ساختمان رآکتور

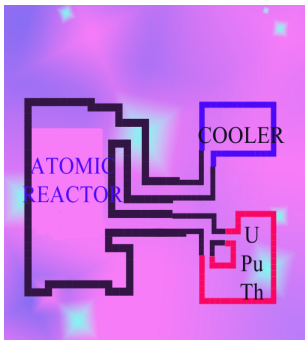
-
-
-
-
-
-
-



انرژی سوختهای هسته ای

- معنی عملی فرایند شکافت با محاسبه مقدار اورانیوم مصرف شده برای بدست آوردن مقدار معینی انرژی آشکار میشود. هر شکافت ۱۹۰ Mev انرژی مفید می دهد.
- در یک رآکتور نمونه که ۳۰۰۰ MW انرژی حرارتی تولید می کند مصرف سوخت **U-235** حدود ٤ kg/d است.
- برای تولید همان انرژی با استفاده از سوختهای فسیلی مثل ذغال سنگ ، نفت و گاز سوخت لازم میلیونها برابر آن وزن خواهد داشت.

سوخت رآکتورها



- ✓ اورانیوم U
- ✓ پلوتونیوم Pu
- ✓ توریوم Th

اورانیوم

متداولترین نوع سوخت برای رآکتورهای هسته ای است.

این ماده به صورت خالص یعنی اورانیوم فلزی موجود میباشد.

علاوه بر آن به صورتهای ترکیبی ***اکسید اورانیوم*** یا ***کربور اورانیوم*** نیز وجود دارد.

اورانیوم فلز نسبتا نرم و قابل کششی است که در دمای بالابه آسانی در هوا و آب اکسید می شود.

نقطه ذوب آن ۱۱۳۳ درجه سانتی گراد است.

پلوتونیوم

نقطه ذوب این فلز ۳٤۰ درجه سانتی گراد است .

پلوتونیوم تارسیدن به نقطه ذوب دارای تعداد زیادی فاز بلوری است.

بدلیل ساختمان بلوری خود سوخت مناسبی برای رآکتورها نمی باشد.

در صورت نیاز این فلز را به صورت ترکیب PuO_2 در رآکتورها به کار می برند.

نقطه ذوب ترکیب فوق ۲٤۰۰ درجه سانتی گراد است.

توریوم

توریوم تا کنون به عنوان سوخت رآکتور کاربرد زیادی نداشته است.

از لحاظ پایداری این فلز برتر از اورانیوم است.

به صورت خالص برای سوخت در رآکتورها به کار نمیرود. بلکه آنرا به شکلهای دی اکسید توریوم ThO_2 و یا کربور توریوم ThC_2 استفاده می نمایند.

نقطه ذوب فلز توریوم به جز در چند رآکتور با خنک کننده گازی، حدود ۱۷۰۰ درجه سانتی گراد است.

سوخت هسته ای

سوخت رآکتورهای هسته ای باید به گونه ای باشد که متحمل شکافت حاصله از نوترون شود.

پنج نوکلئوتید شکافت پذیر وجود دارند که در حال حاضر در رآکتورها به کار می روند:

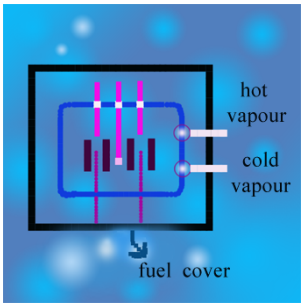
Pu 239, U 238, U 235, U 233, Th 232

برخی از این نوکلئوتیدها برای شکافت حاصله از نوترونهای حرارتی و برخی نیز برای شکافت حاصل از نوترونهای سریع می باشند.

خصوصیات سوخت هسته ای

هدایت حرارتی

غلاف سوخت رآکتور



خصوصیات غلاف رآکتور

مواد کند کننده نوترون

یک کند کننده ماده ای است که برای کند یا حرارتی کردن نوترونهای سریع به کار می رود.

هسته هایی که دارای جرمی نزدیک به جرم نوترون هستند بهترین کند کننده می باشند.

کند کننده ها باید سطح جذبی پایینی نسبت به نوترون داشته باشند.

نمونه هایی برای کند کننده ها عبارتند از:

هیدروژن ، دوتریوم ، برلیوم ، کربن

به دلیل سمی بودن "دوتریوم" کمتر از آن استفاده می شود.

ایزوتوپ های هیدروژن به شکل "**آب**" و "**آب سنگین**" بکار می روند.

ایزوتوپ کربن نیز به شکل "**گرافیت**" به عنوان کند کننده مورد استفاده قرار میگیرد.

شرحی کوتاه بر کند کننده ها

آب :

یک انتخاب بدیهی برای رآکتورهای حرارتی است. آب دارای سطح مقطع جذبی نسبتا بالایی است. کند کننده آب برای بحرانی شدن نیاز به اورانیوم غنی شده دارد.

آب سنگین :

بسیاری از خواص فیزیکی و ترمودینامیکی آب سنگین شبیه آب معمولی است. فرق اساسی آب سنگین با آب معمولی این است که "دوتریوم" سطح مقطع جذب خیلی پایین تری نسبت به هیدروژن دارد.

گرافیت :

ویژگیهای هسته ای این ماده ، مثل قدرت کند کنندگی وسطح مقطع جذب بخوبی ویژگیهای آب سنگین نسیت. اما نوع خالص آنرا میتوان تهیه کرد. خواص ساختاری و گرمایی آن خوب است اما

در دماهای بالا با هوا ترکیب می شود. گرافیت دارای رسانندگی گرمایی بالایی است.

خنک کننده ها

گرمای حاصله از شکافت در محیط رآکتور یا باید زدوده شود و یا آنقدر بالا میرود که میله های سوخت را ذوب خواهد نمود.

در رآکتورهای قدرت گرمایی که از رآکتور گرفته می شود صرف تولید برق می گردد.

ماده خنک کننده چندین ویژگی دارد که عبارتند از:

پایداری شیمیایی

هدایت حرارتی زیاد

سطح مقطع جذب پایین تر از نوترون

ضمنا این ماده نباید در اثر واکنشهای گاما دهنده رادیواکتیو شود.

مواد خنک کننده مناسب

برای خنک کننده ها بیشتر از گازها و مایعات استفاده میشود.

گازهای "**دی اکسید کربن**" و "**هلیوم**" مناسبند.

گاز هلیوم ، بسیار ایده آل است ولی پر هزینه بوده و تهیه مقادیر زیاد آن مشکل است.

مایعات خنک کننده شامل "**آب**" ، "**آب سنگین**" و "**فلزات مایع**" میباشند.

چون برای جوشیدن آب فشار زیادی لازم است، مناسب نمیباشد.

خصوصیات خنک کننده ها

هلیوم :

گازی است بی اثر، دارای خواص ترمودینامیکی خوب و خطر تابش هم ایجاد نمی کند. متاسفانه مقدار زیاد آن به سادگی در دسترس نیست .و منحصرا در رآکتورهای دمای بالای گازی امریکا و آلمان مصرف می شود.

فلزات مایع :

بدلیل خواص ترمودینامیکی خوبشان، به خصوص رسانندگی گرمایی بالای خنک کننده های بالقوه خوبی هستند. سدیم، لیتیم، جیوه و آلیاژهای سدیم- پتاسیم همه مناسبند. ولی از میان آنها سدیم بشتر از بقیه در رآکتورهای "سریع زاینده" مورد استفاده قرار گرفته است.

کند کننده ها و خنک کننده ها

شرکت در کند کردن نوترونها و خروج گرمای حاصل از شکافت

خنک کننده ها	کند کننده ها
آب سبک	آب سبک
دی اکسید کربن	آب سنگین
هلیم	گرافیت
سدیم مایع	برلیم

مواد کنترل کننده شکافت

انواع مواد کنترل کننده شکافت

بور :

بور متداول ترین ماده کنترل کننده است. ولی از آن نمی توان به تنهایی استفاده نمود. می توان آنرا با فولاد در آمیخت و یا به صورت کربور محبوس در کپسولهای فولادی مورد استفاده قرارداد.

ایندیم و کادمیوم :

هردو سطح مقطع جذب بالایی دارند. اما نقطه ذوب آنها کمتر از آن است که بتوان از آنها در رآکتورهای قدرت استفاده نمود.

هافنیوم :

دارای استحکام مکانیکی کافی و مقاومت خوبی در برابر خوردگی است. لذا ماده کنترلی خوبی است.

اگادولینیوم :

در بعضی رآکتورهای گازی پیشرفته به عنوان سم قابل سوختن بکار می رود.

انواع رآکتورها

رآکتورها بر حسب **نوع فرایند شکافت** :

رآکتورهای حرارتی

رآکتورهای واسطه یا میانی

رآکتورها برحسب **مصرف سوخت** :

رآکتورهای سوزاننده

رآکتورهای مبدل و زاینده

رآکتورها برحسب **نوع سوخت** :

رآکتورهای اورانیوم طبیعی

رآکتورهای اورانیوم غنی شده

... ادامه

رآکتورها برحسب **نوع خنک کننده ها** :

رآکتورهای گاز

رآکتورهای مایع

رآکتورها بر حسب **کند کننده ها** :

رآکتورهای همگن

رآکتورهای ناهمگن

رآکتورهابر حسب **کاربرد** :

رآکتورهای قدرت

رآکتورهای تولید نوکلئوئید

رآکتورهای تحقیقاتی

مهمترین انواع رآکتورها

هرچند که تنها شرط اینکه یک واکنش زنجیره ای توسط نوترونها انجام پذیرد مقدار کافی از یک عنصر شکافت پذیر است، ترکیبهای بسیاری از مواد و ترتیب آنها را میتوان برای ساختن یک نیروگاه قابل استفاده به کار برد.

اززمانی که اولین راکتور کار خود را آغاز کرد یعنی سال ۱۹۴۲ انواع و طراحیهای مختلف رآکتور ساخته و آزمایش شده اند.

در این قسمت به برجسته ترین انواع آنها که کاربرد بیشتری دارند اشاره می کنیم :

رآکتور سریع

در این رآکتور انرژی بیشتر نوترونها در گستره ای به میزان 1 Mev / 0 – 1 باشد.

این انرژی کمتر از انرژی نوترونهای آزاد شده در شکافت است ولی به آن نزدیک می باشد.

نوترونها در انرژی بالا باقی می مانند زیرا برای کند کردن آنها ماده نسبتاً کمی وجود دارد.

رآکتور حرارتی

متقابل با رآکتورهای سریع، راکتورهای حرارتی دارای ماده کند کننده خوبی هستند.

در این نوع رآکتورتوده نوترونها دارای انرژی کمتر از0 / 1Mev هستند.

رآکتورهای آبی تحت فشار

PWR

کند کننده و خنک کننده : آب سبک

دما : F 600°

فشار :psi 2200

سوخت : ترکیبی ناهمگن از اورانیوم کمی غنی شده

رآکتور آب جوشان

BWR

شبیه به PWR

فشار و دما پایین ترند

دما : F 550°

فشار : psi 1000

رآکتور بادمای بالا و خنک کننده گاز

HTGR

کند کننده : گرافیت

خنک کننده : هلیم

دما : F1430°

فشار :psi 600

سوخت : اورانیوم بسیار غنی شده

رآکتور زاینده سریع با فلز مایع

LMFBR

بدون کند کننده

خنک کننده : سدیم مایع

سوخت : پلوتونیوم که با اورانیوم تهی شده محاصره شده

مواد رآکتورهای قدرت

	PWR	BWR	CANDU	HTGR	LMFBR
شکل سوخت	UO2	UO2	UO2	UC,ThC	PuO2,UO2
درصد غنی	U235 3%	U235 2.5%	U235 0.7%	U235 93%	Pu239 %15wt
کند کننده	آب	آب	آب سنگین	گرافیت	ندارد
خنک کننده	آب	آب	آب سنگین	هلیم	سدیم مایع
غلاف سوخت	زیرکالوی	زیرکالوی	زیرکالوی	گرافیت	فولاد ضد زنگ
کنترل	B4C,Ag,In, Cd	میله صلبی B4C	سطح کندکننده	B4C	میله تانتالم B4C
دیگ	فولاد	فولاد	فولاد	بتون	فولاد

بهره برداری از رآکتورها

تولید انرژی از سوختهای هسته ای از این جهت منحصر به فرد است که باید همیشه مقدار زیادی سوخت در رآکتور باشد تا واکنش زنجیره ای ادامه یابد.

در واقع یک ارتباط ظریف بین سوخت رآکتور و کمیتهای دیگر مثل مصرف، قدرت، شار نوترونی، بحرانی شدن و کنترل وجود دارد.

اگر تنها سوخت را U235 فرض کنیم، از آنجا که هر اتم سوخته یعنی تبدیل به U236 و یا پاره های شکافت نوترونی به همراه انرژی شده است ، می توانیم مقدار سوخت مصرفی در یک زمان مشخص را بدست آوریم.

ایمنی رآکتور

خوب میدانیم که پاره های شکافت جمع شده در رآکتوری که برای مدتی مشغول کار بوده منبع بالقوه ای از خطرات تابشی می باشد.

لازم است اطمینان حاصل شود که یکپارچگی سوخت در تمام چرخه بهره برداری محفوظ می ماند و مقدار قابل اغماض مواد رادیواکتیو به بیرون درز میکند.

این کار مستلزم محدودیت هایی برروی دما و قدرت بوده و همچنین به کفایت خنک کنندگی تحت کلیه شرایط بستگی دارد.

ایمنی ذاتی باید توسط خصوصیات فیزیکی واکنش شکافت زنجیره ای تأمین شود.

به علاوه انتخاب مواد، ترتیب آنها و محدودیت روی نحوه بهره برداری سطح دومی از ایمنی لازم را تأمین می کند.

حادثه چرنوبیل

در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶ حادثه بسیار وخیمی دررآکتور چرنوبیل در نزدیکی کیف در اوکراین روی داد.

انفجاری صورت گرفت که سوراخی در سقف ساختمان رآکتور ایجاد نمود، کند کننده گرافیت آتش گرفت و مقدار زیادی از مواد رادیواکتیو سوختی آسیب دید و وارد جو شد.

تعدادی از کارگران کشته شدند، شهرهای مجاور آلوده گشتند و تخمین زده میشود که دز جمعی دریافت شده توسط مردم از حد خطر ابتلای سرطان تجاوز نمود. به علاوه چندین کشور اروپایی واردات مواد غذایی کشور شوروی را تحریم کردند.

رآکتور چرنوبیل از نوع RBMK بود: قلب آن استوانه ای به ارتفاع ۷ مترو قطر ۱۲ متر شامل کندکننده گرافیت بودـو ۱۸ دسته میله اورانیوم کمی غنی شده در آن وجود داشت.

چرخه سوخت هسته ای

- چرخه سوخت اورانیوم را چرخه سوخت هسته ای نیز می گویند.
- چرخه سوخت هسته ای از دو بخش عمده تشکیل شده:

- Front endمرحله ا :ی است که منجر به آماده سازی اورانیوم به عنوان سوخت راکتور هسته ای میشود و شامل استخراج از معدن ، آسیاب کردن و تبدیل و غنی سازی و تولید سوخت است
- Back endپس از مصرف اوراز نیوم به عنوان سوخت مرحله پیشگیری از صدمات هسته ای به انسان و محیط زیست آغاز می شود که شامل انبارداری موقت و باز فرآوری و انبار داری نهائی. است

چرخه سوخت هسته ای
اکتشاف و استخراج

- ذخائر طبیعی اورانیوم سنگ معدن اورانیوم است که بر اساس مقدار قابل استحصال از معدن محاسبه می شود.
- اورانیوم موجود در طبیعت معمولاً از دو ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۵ و اورانیوم ۲۳۸ تشکیل شده که فراوانی آنها بترتیب ۰.۷۱ درصد و ۹۹.۲۷ در صد می باشد.

چرخه سوخت هسته ای
تهیه کیک زرد

- پس از استخراج سنگ معدن اورانیوم جهت آماده سازی ماده اولیه در تکنولوژی هسته ای ابتدا باید سنگ معدن اورانیوم خام را آسیاب و به صورت پودر در آورند.
- در واقع عمل آسیاب کردن اکسید اورانیوم غلیظی تولید می کند.
- در یک آسیاب، اورانیوم با عمل سنگ شوئی از سنگ های معدنی خرد شده جدا می شود که یا با اسید قوی و یا با محلول قلیائی قوی حل می شود و به صورت محلول در آید.
- سپس اورانیوم با ته نشین کردن از محلول جدا می شود. و بعد از خشک کردن به صورت اشباع شده و غلیظ در ظروف مشخص بسته بندی می شوند.
- باقیمانده های سنگ معدن که بیشتر شامل مواد پرتوزا وسنگ معدن میشوند به روشهای مهندسی دفن و یا دفع می شوند.

چرخه سوخت هسته ای
تهیه کیک زرد

-
-
-

چرخه سوخت هسته ای
غنی سازی

- مراحل ابتدائی غنی سازی شامل:

- تبدیل کیک زرد به اکسید اورانیوم دو UO_2.
- تبدیل اکسید اورانیوم دو به تترافلوراید اورانیوم UF_4.
- تغییر تترافلوراید به هگزا فلوراید اورانیوم UF_6.

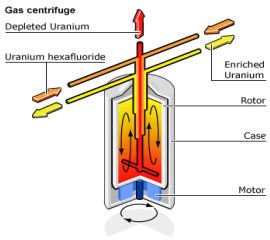
چرخه سوخت هسته ای
روشهای غنی سازی

- انتشار گازی
- سانتریفیوژ
- آئرودینامیک
- استفاده از لیزر
- استفاده از الکترومغناطیس
- جدا سازی شیمیائی

چرخه سوخت هسته ای
روشهای غنی سازی
(انتشار گازی)

- در این فرآیند اورانیوم به شکل گاز درآمده و از درون یک مجرای مشبک از جنسی خاص همچون نیکل عبور داده میشود. بدین ترتیب مولکولهای گازی اورانیوم ۲۳۵ که در مقایسه با ایزوتوپ ۲۳۸ از حجم کمتری برخوردار هستند با سرعت بیشتری از روزنه های مجرا عبور نموده و در صد آنها بیشتر می شود.
- روش پر هزینه ای است.

چرخه سوخت هسته ای
روشهای غنی سازی
(سانتریفیوژ)



چرخه سوخت هسته ای
روشهای غنی سازی

- **جداسازی آئرودینامیک:** در این فرآیند مخلوطی از گاز هگزا فلوراید اورانیوم و هیدروژن یا هلیوم از درون دهانه ای عبور داده می شود و نیروی گریز از مرکز تولید شده ، باعث جداسازی اورانیوم ۲۳۵ از سایر ایزوتوپها می شود.

- **استفاده از لیزر:** در این فرآیند از اشعه لیزر برای تفکیک ایزوتوپهای اورانیوم استفاده می شود درحال حاضر این فرایند پیشرفته ترین راه برای غنی سازی اورانیوم می باشد که سرعت فوق العاده ای دارد.

چرخه سوخت هسته ای
روشهای غنی سازی

- **استفاده از الکترومغناطیس:** در این روش جریان شدید از یونهای کم انرژی از درون یک میدان مغناطیسی که با آهنربای بزرگ الکتریکی تولید شده عبور داده می شود و در نتیجه ایزوتوپهای سبکتر در میدان مغناطیسی بیشتر منحرف شده و از ایزوتوپهای سنگین تر جدا می شود.

- **جدا سازی شیمیائی :** در این روش یونهای ایزوتوپهای اورانیوم از موانع شیمیائی عبور داده می شوند، در این روش به واسطه اختلاف جرم اتمی یونهای اورانیوم سرعتهای متفاوتی در عبور از موانع شیمیائی پیدا نموده و بدین روش از یکدیگر جدا می شوند.
  - رعایت نکات ایمنی و توجه به عدم پخش مواد پرتوزا در این روش حائز اهمیت است.

چرخه سوخت هسته ای
ساخت میله های سوخت

- تولید میله سوخت آخرین مرحله Front end در چرخه هسته ایست.
- اورانیوم غنی شده که هنوز به شکل UF6 است باید به پودر در اکسید اورانیوم UO2 تبدیل شود تا بعنوان سوخت هسته ای قابل استفاده باشد.
- پودر UO2 سپس فشرده شده و بصورت قرص در می آید.
- قرصهای بدست آمده درمعرض دمای بالا به قرصهای سرامیکی سخت تبدیل میشوند.
- قرصهای کوچک بدست آمده را متناسب با نیازدسته دسته کرده و در لوله های مخصوص قرار می دهند.
- جنس این لوله ها از آلیاژ مخصوص ساخته شده که در برابر خوردگی بسیار مقاوم و د رعین حال از رسانائی حرارتی بسیار بالائی برخوردار است.
- در این مرحله است که میله سوخت آماده شده و برای استفاده به نیروگاه فرستاده می شود.

تمرین

هر گاه یک الکترون بطور کامل به انرژی تبدیل شود میزان انرژی آنرا محاسبه کنید؟ (توضیح : ۱۲/۱ جرم اتم کربن ۱۲ را واحد جرم اتمی نامیده و مقدار آن U=1.660566x10^-27 kg است. جرم الکترون 5.485803x10^-4 U ، جرم پروتون ۱.۰۰۷۲۷۶ U و جرم نوترون ۱.۰۰۸۶۶۵ U می باشد)

میزان انرژی هسته ای U-238 را به دو روش زیر محاسبه و نتایج آنها را با هم مقایسه کنید؟

$$E_{(J)} = m_{(kg)}c^2,$$

$$E_{(Mev)} = m_{(U)} \times 931.502$$

اگر فروپاشی p-32 بصورت زیر باشد میزان انرژی ماکزیمم بتای منفی (نگاترون) را محاسبه کنید؟

$$^{32}P \rightarrow ^{32}S + \beta^-$$

تمرین

اگر فروپاشی کربن ۱۱ بصورت زیر باشد میزان انرژی ماکزیمم بتای مثبت (پوزیترون) را محاسبه کنید؟ (توضیح: هرگاه میزان انرژی در این سری واکنشها از ۱.۰۲ Mev بیشتر شود باید این میزان را برای واکنش زوج پوزیترون-الکترون بطور مجزا محاسبه نموده و آنگاه مازاد این انرژی میزان انرژی ماکزیمم پوزیترون خواهد بود).

$$^{11}C \rightarrow ^{11} B + \beta^{+}$$

میزان انرژی پرتو آلفا را درواکنش زیر محاسبه کنید؟

$$^{226}R \rightarrow ^{222} Rn + \alpha^{++}$$

• جنبه های بهداشتی پرتوها

جلسه چهارم

پرتوهای الکترومغناطیس

- از سال ۱۸۶۴ ماکسول وابستگی بین میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را بصورت روابط ریاضی بیان شده است.
- تئوری ماکسول نشان می دهد که هر تغییر در میدانهای الکتریکی همیشه با تغییراتی در میدانهای مغناطیسی همراه میباشد و بر عکس.
- از اجتماع میدانهای الکتریکی و مغناطیسی امواج الکترو مغناطیس ایجاد میشود.
- سرعت تمام پرتوها یکسان و برابر ($3\times10^{8}\ m/s$) در خلاء است.
- هر موج از پرتوهای الکترومغناطیسی با سه مشخصه فرکانس، طول موج و انرژی نشان داده می شود.
- فرکانس بر حسب هرتز، طول موج عمدتاً بر حسب آنگستروم ($10^{-10}\ m$) وانرژی بر حسب ژول .
- هر چه طول موج بیشتر فرکانس کمتر و بر عکس .

خاصیت ذره ای پرتوهای الکترومغناطیس

- برای توجیه انتقال انرژی در پرتوهای الکترومغناطیسی مخصوصا در فرکانسهای بالاتر از تئوری ذره ای یا کوانتیک پرتوها استفاده می شود.
- در این تئوری انتقال انرژی از یک مکان به مکان دیگر برای پرتوهای الکترومغناطیسی کاملا پیوسته و اتصالی نیست، بلکه انتقال انرژی بصورت ذرات یا کوانتا (فوتون) انجام میگیرد.
- انرژی هر فوتون با فرکانس پرتو رابطه مستقیم دارد.

$$E(j) = hf\ , \quad h = 6.61\times10^{-34}\ js$$

or

$$E(ev) = \frac{12400}{\lambda(A^{\circ})}$$

بیناب پرتوهای الکترومغناطیس

فرکانس (هرتز)	طول موج	انرژی فوتون(ev)	پرتو
	$1\times10^{-13} - 1.24\times10^{-4}$	$1\times10^{7}\ m - 1cm$	امواج رادیوئی $3 - 3\times10^{10}$
	$0.0124 - 1.24$	$0.01cm - 1\times10^{4}\ A^{\circ}$	امواج مادون قرمز $3\times10^{12} - 3\times10^{14}$
	$1.77 - 3.1$	$7\times10^{3} - 4\times10^{3}\ A^{\circ}$	نور مرئی $4.13\times10^{14} - 7.5\times10^{14}$
	$3.1 - 124$	$4\times10^{3} - 100\ A\circ$	امواج ماوراء بنفش $7.5\times10^{14} - 3\times10^{16}$
	$124 - 12400$	$100 - 1\ A^{\circ}$	اشعه ایکس نرم $3\times10^{16} - 3\times10^{18}$
	$12400 - 124000$	$1 - 0.1\ A^{\circ}$	اشعه ایکس $3\times10^{18} - 3\times10^{19}$
	$124000 - 1240000$	$0.1 - 0.01\ A^{\circ}$	اشعه گاما، اشعه کیهانی $3\times10^{19} - 3\times10^{20}$

بیناب پرتوهای الکترومغناطیس

- بیناب امواج الکترومغناطیس پیوسته است.

پرتوهای الکترومغناطیسی بر حسب اینکه انرژی شان بتواند در جسم جاذب (مثلا بدن موجود زنده) ایجاد یونسازی و تحریک کند یا نه به دو گروه بزرگ پرتوهای یونساز و غیر یونساز تقسیم می شوند.

بعنوان یک راهنما میتوان گفت که هر پرتوئی که انرژی بیشتر از حدود ۳۴ الکترون ولت انرژی داشته باشد پرتو یونساز است.

پرتو ماوراء بنفش پرتو غیر یونساز است چون بخش با انرژی بالای آن فقط در خلا منتشر می شود.

امواج رادیوئی

- شامل امواج بلند، کوتاه و فراکوتاه که قابل استفاده در رادار هستند میباشد، این امواج توسط نوسان کننده های الکتریکی تولید شده و توسط وسائل الکترونیکی قابل شناسائی است.
- از اجسام عایق عبور کرده و توسط اجسام هادی بازتاب می یابد.
- در اثر تغییر در حرکت دورانی الکترون ایجاد می شوند.
- دارای خصوصیات پرتوهای الکترومغناطیسی بوده و برای معرفی بیشتر بر روی فرکانس آنها بحث میشود تا طول موج و انرژی آنها بر حسب میدانهای الکتریکی و یا مغناطیسی آنها شرح داده شده و آنها بجای کمیت انرژی از شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی استفاده می شود.
- هم بصورت موج پیوسته و هم پالس منتشر می شود.

طیف پرتوهای فرکانس رادیوئی

فرکانس		باند موج
Extremely Low Frequency	ELF	شنوایی بشنه
Ultra Low Frequency	ULF	
Very Low Frequency	VLF	
Low Frequency	LF	بلند
Medium Frequency	MF	متوسط
High Frequency	HF	کوتاه
Very High Frequency	VHF	دارای فرکانس کوتاه
Ultra High Frequency	UHF	میکروویو (دسی متر)
Super High Frequency	SHF	میکروویو (سانتی متر)
Extremely High Frequency	EHF	میکروویو (میلی متر)

طیف پرتوهای فرکانس رادیوئی

انرژی فوتون (ev)	فرکانس	طول موج (متر)	موج
	$10^{7}-10^{6}$ VHF (30-300)MHz		$10^{-13}-10^{-12}$ ELF
	$10^{6}-10^{5}$ HF (3-30)MHz		$10^{-12}-10^{-11}$ ULF
	$10^{5}-10^{4}$ MF (300-3000)KHz		$10^{-11}-10^{-10}$ VLF
	$10^{4}-10^{3}$ LF (30-300)KHz		$10^{-10}-10^{-9}$ LF
	$10^{3}-10^{2}$ VLF (3-30)KHz		$10^{-9}-10^{-8}$ MF
	$10^{2}-10$ ULF (300-3000)Hz		$10^{-8}-10^{-7}$ HF
	$10-1$ ELF (30-300)Hz		$10^{-7}-10^{-6}$ VHF
	$1-10^{-1}$ (3-30)Hz		$10^{-6}-10^{-5}$ UHF
	$10^{-1}-10^{-2}$ (300-3000)GHz		$10^{-5}-10^{-4}$ SHF
	$10^{-2}-10^{-3}$ (30-300)GHz		$10^{-4}-10^{-3}$ EHF

کاربردهای پرتوهای فرکانس رادیوئی

- مخابرات
  - فرستنده های (رادیو تلویزیون)
  - امواج ناوبری (هوائی و محصولات دریائی ، پروازهای فضائی)
  - مخابرات رادیوئی دوطرفه (تلفنی و تلگرافی)
  - امواج محل یاب (رادار سیستم میزر(سیستم تقویت مغناطیسی))
  - ارسال مجدد امواج (فرستنده ها و ایستگاههای تقویت امواج)

کاربردهای پرتوهای فرکانس رادیوئی

- گرمایش امواج فرکانس بالا و میکروویو
- کاربردهای پزشکی (دیاترمی درمان سرطان، نرم کننده اندامهای سفت شده به منظور پیوند زنی)
- مقاصد تجزیه ای (استریل کردن آمپولها، غیر فعال کردن آنزیمها)
- مصارف صنعتی (کوره های دی الکتریک و میکروویو برای درز بندی پلاستیکها و قطعات دستگاهها، طبخ غذا، خشکانیدن کاغذ، پارچه و محصولات شیشه ای و...)
- کاربرد برای مقاصد علمی

پرتوهای اپتیکی
مادون قرمز

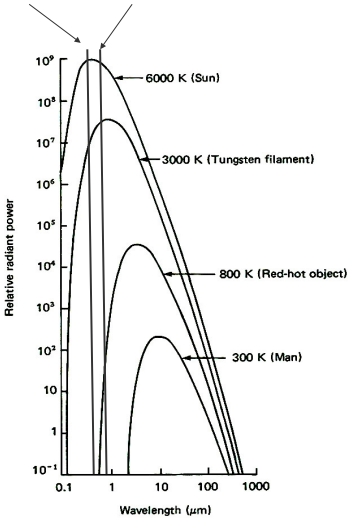
- این امواج توسط ارتعاشات مولکولی و تحریک الکترونهای مدار خارجی اتم تولید می شوند.
- در اثر تغییر در حرکت ارتعاشی الکترون ایجاد می شوند.
- توسط وسائل حرارتی و فیلمها قابل شناسائی هستند.
- بیشتر اجسام جامد مانع عبور این امواج هستند.
- پاسخ اولیه به جذب این انرژیها یک اثر حرارتی است.
- هر جسمی که داغ شود تابش مادون قرمز می کند.

دون قرمز

- قانون جابجائي وين

$$\lambda_m = \frac{2898}{T(^\circ K)} \ (\mu m)$$

- سطوح با دماي كمتر از 800 درجه كلوين
- انرژي تشعشعي را بطور كامل
- در ناحيه مادون قرمز تابش مي كنند.



مادون قرمز

ناحيه	فركانس Hz	حدودتقريبی طول موج بر حسب ميكروومتر	انرژي فوتون برحسب ميلي الكترون ولت
IR-A	214-385	1.4-0.78	1590 – 886
IR-B	100-214	1.4 – 3	413-886
IR-C	100 – 0.3	3 -1000	1.24-413
نزديک	385 -100	3-0.78	413-1590
متوسط	100 -10	30-3	413- 41.33
دور	0.3-10	1000-30	41 -1.24

پرتوهای اپتیکی
نورمرئی

- از تحریک الکترونهای مدار خارجی اتم وهمچنین از شارژ الکتریکی لامپها و لوله های گازی ایجاد می شود.
- توسط فیلمها، سلول فوتو الکتریک و چشم قابل شناسائی است.
- از اجسام شفاف مانند شیشه عبور می کند.
- رویت اجسام عملی فوتو شیمیائی و پدیده ای فیزیولوژیکی است ولی اثری مضر ناشی از پرتوگیری چشمها با این انرژیهای تابشی گزارش نشده است.
- پرتوگیری از منابع نوری قوی موجب خستگی چشم ها، آماس عنبیه و آماس لبه های خارجی پلکها می گردد که البته این اثرات موقتی هستند.
- البته نورهای تابش شده از خورشید، یا اجسام تابان قوی و منابع نور نوسانی ، انواع مختلف قوسهای الکتریکی میتوانند ضررهائی به بافت چشم بزنند.

لیزر

- Laser (Light Amplification by Stimulated Emission Radiation)
- انیشتین تابش تحریکی را در سال ۱۹۱۷ پیشنهاد نمود و پدیده تابش القائی که عامل تقویت در نوسان مولکولی میباشد را معرفی نمود. با توجه به تئوری فوق اولین وسیله ای که ساخته شد یک تقویت کننده پرتوبود.
- با استفاده از دستگاه فوق و تقویت ارتعاشات مولکولی آمونیاک (ماکرویو) پرتو میزر ایجاد شد.
- سپس Maiman با استفاده از یاقوت اقدام به ساختن لیزر کرد (۱۹۶۰).
- پس از آن علی جوان لیزر هلیوم نئون (لیزر گازی) را ساخت (۱۹۶۲).

لیزر
چگونگی بوجود آمدن نور مرئی

- الکترونهای اتم ماده ای که قرار است تولید نورکند در اثر گرفتن انرژی به مدارهای بالاتر رفته و پس از مدتی به مدار اولیه بر می گردند.
- نور مرئی به همراه بازگشت الکترون به مدار اصلی تولید می شوند.
- مکانیزم رفت و برگشت برای تمام الکترونها همزمان اتفاق نیفتاده و در بعضی از این منابع اختلاف زمانی هم قابل محاسبه است.
- لذا نورمرئی با پراکندگی زیاد، شدت کم و از نظر طول موجهای مختلف ناخالص خواهد بود.
- تمام معایب فوق در لیزر با استفاده از تابش القائی بر طرف می شود.
- پرتو لیزر ایجاد شده:
همدوس (Coherent) ، تکفام (Mono chromate) ، سودار (Directional) و شدت بالا (High Radiance) خواهد بود.
- واحد رادیانس (وات بر استرادیان بر سانتی متر مربع (می باشد.

ساختمان لیزر

- یک دستگاه مولد نور مرئی است که در محفظه ای بنام حفره قرار گرفته است.
- منبع مولد نور از اجتماع یک تقویت کننده و دو بازتاب دهنده تشکیل شده است.
- نکته مهم ماده ایست که در داخل حفره قرار میگیرد که همین نوع ماده است که انواع لیزر را با یکدیگر متفاوت میسازد.

لذا لیزر دارای:

- **ماده فعال** (جامد ، مایع گاز)

حالت جامد: ماده فعال ایجاد کننده لیزر: یک یون فلزی باغلظت کم.
مانند: لیزر یاقوت nd:ya & nd:glass &

لیزر گازی: ماده فعال ایجاد کننده لیزر: یک گاز به صورت خالص یا همراه گازهای دیگر. مانند: نئون وهلیم

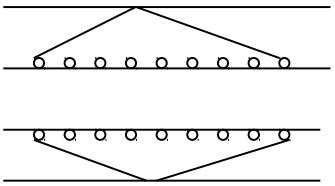
لیزر مایع: از مایعات بکار رفته در این نوع لیزرها بمنظور تغییر طول موج یک لیزر دیگر استفاده میشود. مانند:تولوئن و بنزن

لیزر نیمه رسانا (لیزر دیود یا تزریقی): دو ماده یکی با کمبود الکترون و دیگری با افزونی الکترون به عنوان ماده فعال استفاده میشود.

- **انرژی تحریکی** : باید فرکانس متناسبی داشته باشد که بتواند محیط فعال را به حالت تحریک در آورد. منبع نور شدید یا ژنراتور مولد امواج رادیوئی از انواع این انرژی می باشند.
- **حفره**

لیزر(ادامه)

- مهمترین اصل ایجاد لیزر تحریک به اندازه کافی یا زیاد الکترونها به تراز انرژی بالاتر می باشد.
- قبل از پمپ انرژی به ماده فعال ، تعداد الکترونها در حالت زمینه زیاد است (اصطلاحا حالت جمعیت وجود دارد).
- اگر بخواهیم لیزر تولید نمائیم ، بایستی در مدار تحریکی حالت جمعیت داشته باشیم (یا باصطلاح وارونگی جمعیت).
- مفهوم وارونگی جمعیت: تعداد الکترونهای تحریکی بمراتب بیشتر از حالت زمینه میباشد.



لیزر(ادامه)
احتمالات برگشت الکترونها

الکترونها در مدار میانه قرار دارند و همچنان انرژی تحریکی ادامه دارد، الکترونی که از مدار تحریکی سقوط میکند، فوتونی تابش نموده و به الکترونی که در میانه قرار گرفته برخورد نموده و باعث سقوط به مدار زمینه می شود (تولید لیزر).

الکترونها از حالت تحریک به مدارهای میانه (meta-stable) آمده و در آنجا توقف نموده و آنگاه به مدار زمینه بر می گردند (سقوط از مدار میانه به مدار زمینه تابش لیزر می کند).

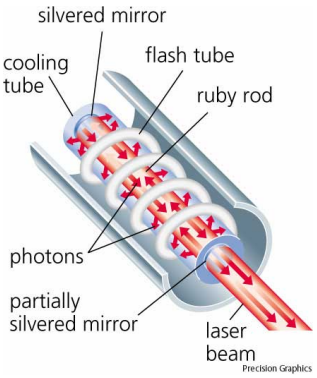
الکترونها مستقیماً به مدار زمینه برگشته و پرتو لیزر را تابش نمایند.

- توضیح: در ابتدای کار تابش فلورسانس با همان طول موج لیزر خواهیم داشت و بعد از مدت زمان حدوداً ۰.۵ میلی ثانیه پرتو همدوس شده و لیزر ایجاد خواهد شد.

لیزریاقوتی

این لیزر تشکیل شده از:

- میله ای به طول بین ۲ تا ۱۰ سانتی متر و قطر ۰.۵ تا ۱ سانتی متر.
- جنس میله: اکسید آلومینیومی که ناخالصی کروم دارد. این ناخالصی بمیزان ۰.۰۵٪ می باشد.
  - افزایش ناخالصی کروم در یاقوت رنگ آنرا تغییر میدهد.
  - کروم طول موجهای زرد و سبز را جذب کرده و طول موجهای قرمز را عبور می دهد.
  - هر چه میزان ناخالصی بیشتر باشد طول موجهای زرد و سبز بیشتری جذب شده و نور قرمزتری مشاهده می شود.
  - در انتهای میله دو سطح وجود دارد یک بازتاب دهنده و دیگری نیمه شفاف.
- منبع القائی: نورمرئی
  - لوله ای مارپیچ دور یاقوت (فلش تیوب)
  - لامپ تخلیه الکتریکی گزنون با انرژی الکتریکی حدود ۲۰۰۰ ژول



لیزریاقوتی (ادامه)

- انرژی جذب شده سبب تحریک الکترونهای یاقوت خواهد شد
- پس از جذب کافی انرژی، الکترونها به مدار تحریکی رفته و پس از بازگشت طول موجی برابر ۶۹۳۴ آنگستروم تابش می کند.
- این نورلیزرنوری است که:
- فقط این طول موج را دارد (تکفام است).
- امواج هم فاز هم دامنه و جهت امواج با یکدیگر برابرند (همدوس است).
- چون پراکندگی بسیار کم است. پرتو بخط مستقیم نزدیک شده و در نتیجه پرتو با شدت بسیار زیاد خواهد بود.
- رادیانس این لیزر در حالی که رادیانس خورشید است .

$10^{10}\ W/Sr/cm^2$

$7\times10^{3}\ W/Sr/cm^2$

لیزرهلیوم– نئون

- محیط فعال ۸۵٪ هیلوم و ۱۵٪ نئون.
- فشار گاز هلیوم حدودا یک میلی متر جیوه و فشار نئون ۰.۱ میلی متر جیوه است.
- در واقع گاز نئون در بستری از گاز هلیوم قرار گرفته است.
- انرژی تحریکی یک ژنراتور رادیوفرکانس بوده که پرتوئی بین ۲ تا ۲۰ مگاهرتز تولید می کند.
- این انرژی باعث تحریک اتمهای هلیوم از حالت زمینه به حالت تحریک میشود.
- اتمهای تحریک شده با اتمهای نئون برخورد انجام داده و اتمهای نئون به مدارهای انرژی بالاتر تحریک می شوند.
- الکترونهای تحریک شده در برگشت در مدار میانه توقف نموده و هنگام بازگشت به مدار زمینه لیزر تابش می شود.
- لیزر با مشخصات و طول موجهای مختلف با توجه به چگونگی بازگشت الکترونها ایجاد می شود.

• انواع کاربرد لیزر

پزشکی

صنعت

اندازه گیری و کنترل

شیمی

نظامی

محیطی

ارتباطات و سیستمهای اطلاعاتی

و ...

کاربرد لیزر در پزشکی

- لیزر در عرصه پزشکی ابتدا به عنوان جایگزینی برای چاقوی جراحی بود.
- در هنگام تاثیر تابش لیزر اثرات بیولوژیکی آن بستگی به خواص گرمائی بافت دارد.

- ***اساس کارلیزر در درمان بیماریها:***
- نور لیزر به خاطر ویژگی ذاتی خود با یک باریکه موازی با طول موج مشخص و شدت بالا در عمق بافت بدن نفوذ کرده و با انتقال انرژی فوتونهای خود در برخورد با بافتها سبب تحریک بیولوژیکی سلول میشود (Photo Biosimulation).
- لیزر با طول موجهائی که در درمان استفاده می شود هیچ ضرری برای بدن ندارد اما باید توسط پزشک مجرب استفاده شود.
- لیزرهای گازکربنیک، هلیوم-نئون و نیمه هادیها بیشتر از دیگر لیزرها در درمان کاربرد دارند.

• لیزرهای پزشکی برحسب اثر انرژی

1. **لیزرهای جراحی:** که سبب تغییرات غیر قابل برگشت دربافت بیولوژیکی میشوند.
2. **لیزرهای تراپی:** این دسته میتوانند عامل محرکه یکسری از واکنشهای مهم بیولوژیکی باشند. مانند:احیای خواص ایمنی ارگانیسم و افزایش آنها.

1. لیزر گالیم آرسنایدبا طول موج 904nm (نیمه هادی)
2. لیزر هلیوم-نئون با طول موج 633nm (قدیمی ترین نوع)
3. لیزر گالیم آلومینیوم آرسنایدبا طول موج ۷۸۰-830nm (نیمه هادی)
4. لیزر ایندیوم گالیم آلومینیوم فسفایدبا طول موج ۶۳۳-635nm (نیمه هادی)

1. **لیزرهای تشخیصی:** که برای بررسی موقعیت و حالت محیطهای بیولوژیکی یا اندازه گیری تغییرات آنها در هنگام تاثیر فاکتورهای مختلف طراحی شده اند.

• انواع کاربرد لیزر در پزشکی

- درمان واریس
- درمان آفت دهانی
- جراحی مینیسک زانو
- درمان سینوزیت
- ترمیم مفاصل
- جراحی مغز
- درمان سردردهای میگرنی
- اورولوژی

- دندانپزشکی
- چشم پزشکی
- اندازه گیری قطر مو
- درمان نوروپاتی دیابتی
- جوش دادن شبکیه چشم
- آنژیوپلاستی عروق کرنر
- درمان اعصاب محیطی آسیب دیده
- درمان تهاجمات موضعی کانسر تیروئید
- طب سوزنی لیزری در درمان فلج مغزی اطفال

• موارد استفاده از لیزر در پوست

- جراحی پلاستیک
- درمان التهابهای عمیق
- درمان ترکهای پوست
- رفع خالکوبی
- بهبود سریع زخمهای دیابتی وبستر و عروقی
- درمان فرورفتگیهای ناشی از آکنه و گلهای و ویروسی

- درمان ضایعات مربوط به عروق پوست مانند: ماه گرفتگی
- درمان ضایعات رنگدانه ای مانند: لکهای ناشی از آفتاب
- جوانسازی پوست و از بین بردن چین و چروک
- از بین بردن موهای زائد

• کاربرد لیزر در صنعت

- برشهای لیزری
- علامت گذاری سطوح
- پرداخت سطوح
- مقاوم سازی سطوح فلزی
- نشانه گذاری و حکاکی
- تراشکاری
- پاکسازی سطوح
- جوشکاری از میکروالکترونیک تا کشتی سازی

- برش اجزای الکترونیک
- بالانس دینامیکی اجزای مدار
- نمونه سازی سریع اولیه
- برش شیشه
- سوخت گیری هواپیما
- شکست کنترل شده
- تعیین مسیر مته زنی در معدن
- هم محور کردن ماشین آلات در ساخت

• کاربرد لیزر در اندازه گیری و کنترل

علامت گذاری

اندازه گیری مسافت

سیستمهای کنترل از راه دور

اندازه گیری سرعت زاویه ای

سیستمهای تخمین موقعیت وجهت

اندازه گیری سرعت ، شتاب و ارتعاشات

• کاربرد لیزر در زمینه شیمی

- جداسازی ایزوتوپها
- غنی سازی اورانیوم
- بررسی جزئیات فرآیند احتراق شعله
- اندازه گیری غلظت و دمای یک نمونه مولکولی
- تشخیص و ایجاد تغییرات شیمیایی برگشت ناپذیر
- بدست آوردن اطلاعات درباره مولکولهای چند اتمی

کاربرد نظامی لیزر

- بمب لیزری
- تفنگ لیزری
- ردیاب لیزری
- فاصله یاب لیزری
- سلاحهای هدایت انرژی

• کاربردهای محیطی

اندازه گیری دبی سیال

بررسی آلودگی

بررسی میزان تصفیه فاضلاب

تعیین میزان توکسین های محیطی

دستگاه های کنترل کیفیت مایعات و گازها

پیش بینی واندازه گیری میزان اسموگ وازن فتوشیمیائی

دستگاه های کنترل متغیرهای ذرات معلق کنترل اکولوژی

• تجهیزات لیزری برای ارتباطات و سیستمهای اطلاعاتی

- سیستم نمایش لیزری
- تقویت کننده های فیبری
- تجهیزات عیب یابی خطوط فیبرنوری
- خواندن اطلاعات دیسک ویدئویی و صوتی
- ترانزیستورهای خطوط ارتباطی فیبرهای نوری
- نوشتن و خواندن اطلاعات در حافظه نوری کامپیوترها
- انتقال رونوشت صفحات روزنامه از طریق گرافیک لیزری
- سیستمهای نوری لیزری برای ثبت، ذخیره و پردازش اطلاعات

• سایر کاربردها

- سرمایش لیزری
- سیستمهای حفاظت لیزری
- تکنولوژی حفاری نفت و گاز
- تولید هولوگرام برجسته و هنری
- اندازه گیری فاصله بین ماه و زمین

پرتو ماوراء بنفش

- در اثر تحریک الکترونهای مدار خارجی اتمها تولید میشود
- این امواج توسط فیلمها، کنتورگایگرها و اطاقهای یونیزاسیون قابل شناسائی است.
- باکتریها را میکشد
- یکی از عوامل ایجاد کننده ویتامین است

از نظر آثار زیستی به سه دسته تقسیم میشود:

- UV-A که از طول موج : ۳۱۵ نانومتر شروع و تا۴۰۰ . نانومتر ادامه دارد
  - زمانی تصور بر این بوده که UVA اثر کمی بر آسیب پوستی داشته باشد اما در حال حاضر مطالعات نشان داده که UVA سهم عمده ای در آسیب به پوست دارد. UVA به طور عمیق تری به درون پوست نفوذ می‌کند و بسیار مؤثرتر عمل می‌کند. همچنین UVA از شیشه عبور می‌کند.
- UV-B که از طول موج : ۲۸۰ نانومتر شروع و تا۳۲۵ . نانومتر ادامه دارد
  - UVB بر لایه بیرونی پوست، اپیدرم، تأثیر می‌گذارد و عامل اولیه‌ای در سوختگیهای آفتابی است، بیشتر بین ساعات ۱۰ صبح تا۲. بعدازظهر که نور خورشید روشن تر است دیده می‌شود UVB از شیشه عبور نمی‌کند
- UV-C که از طول موج : ۱۰۰ نانومتر شروع و تا۲۸۰ . نانومتر ادامه دارد
  - پرتو UVC تقریبا به طور کامل توسط لایه ازن جذب می‌گردد و بر روی پوست تأثیر نمی‌گذارد. اشعه UVC را می‌توان در منابعی مصنوعی از قبیل لامپهای جیوه ای و لامپهای جرم کش یافت.
- طول موج های زیر ۲۰۰ نانومتر فقط در محیط خلاء یا محیطهای بسته گازهای نادر می توانند وجود داشته باشد

• جنبه های بهداشتی پرتوها

جلسه پنجم

طبقه بندی امواج ماوراء بنفش

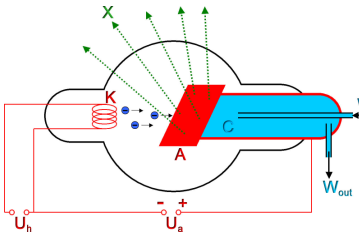
Energy per photon	nanometers range in Wavelength	Abbreviation	Name
eV 3.94–3.10	nm–315 nm 400	UVA	black light Ultraviolet A, long wave, or
eV 4.13–3.10	nm–300 nm 400	NUV	Near
eV 4.43–3.94	nm–280 nm 315	UVB	Ultraviolet B or medium wave
eV 6.20–4.13	nm–200 nm 300	MUV	Middle
eV 12.4–4.43	nm–100 nm 280	UVC	germicidal Ultraviolet C, short wave, or
eV 10.2–6.20	nm–122 nm 200	FUV	Far
eV 12.4–6.20	nm–100 nm 200	VUV	Vacuum
eV 14.1–12.4	nm–88 nm 100	LUV	Low
eV 124–8.28	nm–10 nm 150	SUV	Super
eV 124–10.2	nm–10 nm 121	EUV	Extreme

پرتو x

- یکی از پرتوهای الکترومغناطیسی (بعد از ماوراء بنفش) است.
- محدوده طول موج بین ۱۰۰ تا ۰.۰۱ آنگستروم (معادل ۱۲۴ ev تا ۱.۲۴ Mev)
- پرتوئی یونساز است.
- روشهای تولید:
  - کاهش ناگهانی سرعت الکترونهای سریع
  - خروج الکترون از مدار داخلی اتم
- در دستگاههای مولد ایکس روشهای فوق از بمباران جسمی بعنوان هدف توسط الکترون سریع انجام می پذیرد.
- شدت پرتو ایکس از رابطه:

$$I = Nhf$$

لوله مولد پرتو ایکس



- هر دستگاه مولد پرتو ایکس شامل:
- منبع الکترون(کاتد) که معمولا رشته نازکی از سیم تنگستن است (یک قطعه تنگستن که در لفافی از مس پیچیده شده)
- میدان الکتریکی برای سرعت دادن به الکترونها
- سطح فلزی برای متوقف ساختن الکترونها (آنتی کاتد)

انواع پرتو x

احتمالات برخورد الکترون سریع به اتم هدف:

به یکی از الکترونهای مدار داخلی برخورد کرده و آنرا از مدار خود خارج کند (پرتو x ویژه)

پیکهای پرتو x در طیف پرتو x ویژه باشد.

این پیکها منحصر به فرد است.

به میدان الکتریکی ابر الکترونی اتم هدف نزدیک شده و سرعت آن بطور ناگهانی کاهش یابد.

الکترون سریع در اثر نزدیکی به میدان قوی اتم هدف بطور ناگهانی ترمز کند (پرتو ترمزی)

اگر کاملا الکترون متوقف شود. انرژی پرتو ایکس با انرژی دو سر لوله مولد ایکس برابر است.

سرعت الکترون سریع بتدریج کاسته شود (انواع دیگرانرژی چون گرما، نور و..)

پرتوx ویژه

- هرگاه الکترونی به دلیلی از لایه خود جدا شود، حاصل آن یک تهی جا در آن لایه خواهد بود.
- در این حالت یک الکترون از لایه با انرژی کمتر تمایل خواهد داشت تا این تهی جا را پرکند.
- این عمل آنقدر ادامه پیدا میکند تا اینکه یک الکترون از بیرون گیر اندازی شود یا اینکه اتم بصورت یون باقی بماند.
- حاصل هر یک از این پرشهای الکترونی یک فوتون ایکس است (x ویژه)
- انرژی x ویژه برابر است با اختلاف انرژی بستگی دو لایه ای که الکترون در آنها جابجا شده است.

پرتوx ویژه

- اگر پرش الکترون از لایه L به k باشد پرتو x را ka (a نمایش پرشهای متوالی است) می گویند
- اگر پرش الکترون از لایه M به L باشد پرتو x را Laمی گویند
- اگر پرش الکترون از لایه N به M باشد پرتو x را Ma می گویند
- اگرپرشها یک در میان باشد نامگذاری متفاوت خواهد بود:
- اگر پرش الکترون از لایه M به K باشد پرتو x را kB (B نمایش پرشهای یک در میان است) می گویند
- اگر پرش الکترون از لایه N به L باشد پرتو x را LBمی گویند
- ٪۸۰ موارد پرتوها از نوع a و ٪۲۰ از نوع B است

پرتو گاما

- از انواع پرتوهای الکترو مغناطیسی است که ماهیت آن مانند پرتو ایکس است و اختلاف در منشاء تولید است.
  - ایکس از ابر الکترونی و گاما از هسته
- انرژی گاما از ایکس بیشتر است (معمولا فعل و انفعالات درون هسته ما به ازاء انرژی بیشتری دارند)
- طیف انرژی از ۱۲۴ kev تا ۱.۲۴ Mev است.
- در تجزیه و تحولهای هسته های رادیواکتیو علاوه بر تابش پرتوهای آلفا و بتا ، پرتو گاما نیز تابش میشود.
- انرژی فوتون گاما در بعضی از رادیو ایزوتوپها یکسان و در بعضی متفاوت است. (که این خود از ویژگیهای هسته مربوطه بوده و وسیله بسیار مهم جهت تشخیص رادیو ایزوتوپهاست)

پرتو گاما

- هرگاه هسته ای به هر علت در حالت تهییج قرار گیرد این انرژی تهییج خود را بصورت فوتون گاما تابش میشود.
- نمایش عمومی تولید گاما را میتوان بصورت زیر نشان داد:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{Am}_{Z+1}X + \beta^{-} \qquad {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4m}_{Z-2}X + {}^{4}_{2}\alpha $$

$$ \downarrow \qquad\qquad \downarrow $$

$$ {}^{A}_{Z+1}X + \gamma \qquad {}^{A-4}_{Z-2}X + \gamma $$

پرتو گاما (مثالهائی از تابش گاما)

$$ {}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni^{*} + \beta^{-} $$

$$ \downarrow $$

$$ {}^{60}_{28}Ni $$

$$ Ra \rightarrow (94.3\%) \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + \alpha $$

$$ (5.7\%) \rightarrow {}^{222}_{86}Rn_{86}m + \alpha \Rightarrow {}^{222}_{86}Rn + \gamma $$

الکترون تبدیل داخلی

internal Conversion

- پرتوهای گامای حاصل از واپاشی همواره قادر به خروج از اتم نمیباشند.
- در برخی موارد با الکترونهای مداری برخورد نموده و آنها را از مدار خارج میکند.
- به این الکترونها الکترون تبدیل داخلی میگویند.
- در این حالت نیز پرش الکترون به ناحیه تهی جا پرتو ایکس ویژه تولید خواهد کرد.
- بدیهی است در واپاشی بتای منفی نیز پدیده تبدیل داخلی را خواهیم داشت.

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- انواع پرتوای توضیح داده شده حامل مقادیر قابل توجهی انرژی هستند
- اینگونه پرتوها انرژی خود را از طریق برخورد به مواد منتقل میکنند.
- آشنائی با فرآیند برخورد پرتوها با مواد در موارد زیر مورد نیاز است:
- اثرات پرتوها بر بافت از نقطه نظر بررسیهای بیولوژیکی
- شناخت اصول کار آشکار سازی پرتوها
- چگونگی حفاظت در برابر پرتوها (حفاظ گذاری، دزیمتری و..)
- کاربرد پرتوها در امور تشخیص و درمان
- ساز و کار تولید پرتوها و ..

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- یونیزاسیون و تحریک Ionization & Excitation
- چنانچه الکترون از مدار کولنی هسته کاملا خارج شود گوئیم اتم یونیزه شده است
- به ازاء تعداد الکترونهای جدا شده گوئیم اتم یک ، دو یا چند بار یونیزه شده است.
- چنانچه الکترون جدا شده از لایه ، کماکان در میدان کولنی هسته باقی بماند ، در این صورت فقط یک جابجائی الکترون با کسب انرژی از لایه پائین تر به لایه بالاتر انجام شده است. در این صورت الکترون با آزاد نمودن انرژی به لایه خود باز میگردد که به این حالت میگوئیم اتم بر انگیخته شده است.

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- ضخامت جرمی Density Thickness
- عبارتست از حاصلضرب ضخامت در جرم حجمی ماده و واحد آن گرم بر سانتی متر مربع است. $cm \times g/cm^3 = g/cm^2$

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

پتانسیل یونیزاسیون Ionization Potential
- انرژی لازم جهت کندن الکترون مداری که به یونسازی منجر میشود.

- میانگین افت انرژی (Mean Energy Expenditure) w
  - میزان انرژی لازم جهت تولید یک جفت یون که به آن مقدار w میگویند.
  - میانگین افت انرژی حدود ۲ تا ۳ برابر پتانسیل یونیزاسیون است.
  - مثلا پتانسیل یونیزاسیون اکسیژن ۱۳.۵ ev است ولی میانگین افت انرژی جهت تولید یک جفت یون در آن حدود ۳۴ الکترون ولت است
  - واحد w الکترون ولت بر جفت یون است.

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- آهنگ خطی افت انرژی (linear Rate of Energy Loss)
- میانگین اتلاف انرژی در واحد فاصله طی شده توسط ذره را آهنگ خطی افت انرژی میگویند.
- به این کمیت اصطلاحا آهنگ اتلاف انرژی ویژه و یا توقف یا آهنگ اتلاف انرژی دیفرانسیلی میگویند.
- این کمیت را با dE/dx نشان میدهند.
- واحد آن معمولا بر حسب Mev/cm است

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- آهنگ خطی افت انرژی ذرات آلفا و بتا را میتوان از روابط زیر بدست آورد:

تعداد اتمهای محیط جاذب در هر سانتی متر مکعب — عدد اتمی محیط جاذب — انرژی جنبشی ذره بر حسب Mev

$$\left(\frac{dE}{dx}\right) = 3.88 \times 10^{-30} \times \frac{NZ}{E}\left(\ln\left(\frac{4E}{I}\right)\right)$$

$$\frac{2}{2}$$

$$1 - \beta$$

$$1 \quad ()$$

$$0.511\,E\,\beta$$

$$\ln$$

نسبت سرعت ذره به سرعت نور — میانگین پتانسیل یونیزاسیون و بر انگیختگی اتمهای محیط جاذب بر حسب Mev

آهنگ خطی افت انرژی ذرات آلفا و بتا

- در فرمولهای اسلاید قبل:
- برای هوا در دمای صفر درجه و فشار ۷۶ سانتی متر جیوه:

$$NZ = 3.88 \times 10^{20}$$

- و مقدار I برابر:

$$I = 8.6 \times 10^{-5} \ (for\ air)$$
$$I = 1.35 \times 10^{-5} Z \ (for\ any\ material)$$

- dE/dx آهنگ خطی افت انرژی بر حسب Mev/cm:

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

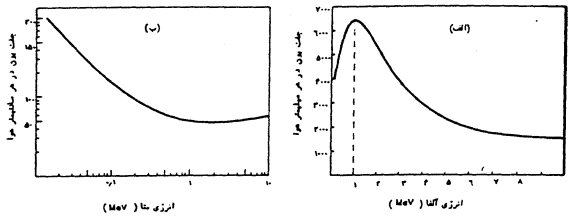
- یونیزاسیون ویژه Specific Ionization
- نسبت آهنگ خطی افت انرژی به میانگین افت انرژی جهت تولید یک جفت یون w را یونیزاسیون ویژه میگویند
- یعنی یونیزاسیون ویژه:

$$SI = \frac{dE/dx}{w} \qquad [SI] = \frac{Ion\ \ pair}{cm}$$

- لذا یونیزاسیون ویژه عبارتست از تعداد زوج یونهای تشکیل شده در واحد طول توسط ذره یونساز

یونیزاسیون ویژه Specific Ionization

- یونیزاسیون ویژه ذرات بتا در انرژیهای پائین بسیار بالاست و با افزایش انرژی از یونیزاسیون ویژه کاسته میشود تا به یک حداقلی در حوالی ۱ Mev میرسد و سپس به آرامی افزایش می یابد.
- یونیزاسیون ویژه ذرات آلفا با افزایش انرژی افزایش می یابد تا به یک حداکثر در حوالی ۱ Mev رسیده و سپس تا حوالی ۵ Mev به سرعت کاهش می یابد و پس از آن ، این کاهش به آرامی صورت میگیرد.



برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- توان توقف جرمی Mass Stopping Power
- چنانچه آهنگ خطی افت انرژی را بر چگالی محیط جاذب تقسیم کنیم کمیت توان توقف جرمی خواهیم داشت

$$S = \frac{dE/dx}{\rho}, \qquad [S] = \frac{Mev}{g/cm^{-2}}$$

- لذا توان توقف جرمی(S) عبارتست از میانگین اتلاف انرژی به ازاء یک گرم بر سانتی متر مربع محیط .

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- توان نسبی توقف جرمی Relative Mass Stopping Power
- اگر توقف جرمی محیط جاذب را نسبت به توان توقف جرمی هوا بسنجیم به آن توان نسبی توقف جرمی میگویند.
- از این کمیت جهت مقایسه توان جذب انرژی در محیطهای مختلف استفاده میشود.

$$\rho_m = \frac{S_m}{S_a}$$

برخورد پرتوها با ماده
اصطلاحات اساسی

- انتقال انرژی خطی (Linear Energy Transfer (LET
- اگر افت انرژی مورد نظر باشد از کمیت یونیزاسیون ویژه dE/dx/w استفاده میشود.
- ولی اگر محیط جاذب انرژی مورد نظر باشد از کمیت انتقال انرژی خطی LET استفاده میشود.
- این کمیتی است که آهنگ خطی جذب انرژی را بیان میکند و مفهوم آن یکی از موارد زیر است:
  - حداکثر فاصله از مسیر ذره
  - حداکثر مقدار افت غیر پیوسته انرژی ذره بطوریکه افت های بیشتر از آن دیگر موضعی تلقی نمیشوند

میانگین انرژی از دست داده شده ذره بطور موضعی (یعنی اینکه انرژی الکترون ثانویه محدود گردد) هنگام عبور از فاصله dL (واحد آن در فیزیک بهداشت کیلوالکترون ولت بر میکرو متر است)

$$LET = \frac{dE_{[Local]}}{dL}$$

جنبه های بهداشتی پرتوها

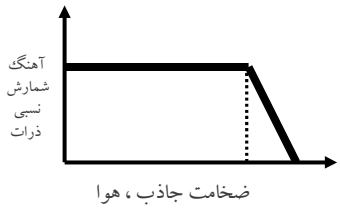
جلسه ششم

واکنش پرتو آلفا با ماده

- ذره آلفا از دو طریق زیر با ماده برخورد می کند:
- عمدتا با الکترونهای مداری، ایجاد یونیزاسیون و یا تهییج میکند.
- بعضی مواقع با هسته اتم در انرژیهای بالا با اتم برخورد انجام میدهد.
- مسیر حرکت آلفا مستقیم است، زیرا جرم آن در مقایسه با الکترونهای مداری بسیار بالاست و درنتیجه منحرف نمیشود و فقط در انتهای مسیرش تفرق پیش می آید.

واکنش پرتو آلفا با ماده

جذب ذرات آلفا بر خلاف ذرات بتا به صورت طیف نیست بلکه تابش آلفا اساساً تک انرژی است به طوری که هر چه ضخامت ماده جاذب بیشتر باشد ، صرفا انرژی ذراتی که از آن عبور می کنند کاهش می یابد و تا زمانی که ضخامت به برد تقریبی نرسد تعداد ذرات کاهش نمی یابد. در این نقطه تعدا ذرات عبور کرده از ماده جاذب شدیداً کاهش می یابد .



امتی را که در آن به یکباره جلوی تمامی ذرات گرفته می شود ، برد پرتو آلفا نام دارد
رتو به عدد اتمی محیط جاذب (رابطه عکس) و انرژی ذره (رابطه مستقیم) وابسته است

برد پرتو آلفا

برای محاسبه برد پرتو آلفا در محیط های مختلف ، ابتدا برد پرتو آلفا را در هوا محاسبه کرده و توسط روابط موجود برای محیط های دیگر تعمیم می دهند .

در هوای استاندارد یعنی هوایی با دمای 0 °C و فشار ۱ atm برای انرژی های مختلف معادلات زیر برقرار است .

$$R_{a(cm)} = 1.24 \times E_{(Mev)} - 2.62 \quad \rightarrow 4 < E_{Mev} < 8$$

$$R_{a(cm)} = 0.56 \times E_{(Mev)} \quad \rightarrow E_{(Mev)} < 4$$

برد در ماده — عدد جرمی ماده

$$R_m = 0.56 A_m^{1/3} \times R_a \leftarrow \text{(cm) برد در هوا}$$

برد پرتو آلفا در بدن انسان

- با توجه به اینکه ترکیب اتمی موثر بافت بدن انسان با ترکیب هوا تفاوت چندانی ندارد بنابراین میتوان از رابطه زیر برای محاسبه برد در بافت بدن استفاده نمود.

برد در هوا (cm) — برد در بافت بدن (cm)

$$R_a \times \rho_a = R_t \times \rho_t$$

چگالی هوا — چگالی بافت بدن که معمولاً 1 گرم بر سانتی متر مکعب در نظر می گیرند

مثال

- برای متوقف کردن ذرات آلفای حاصل از پلوتونیوم ۲۱۰ (انرژی برابر ۵.۳ میلیون الکترون ولت) چه ضخامتی از ورقه آلومینیومی لازم است؟

$$R = 1.24 \times 5.3 - 2.62 = 3.95 \ cm$$

- برد ذرات آلفا در بافتهای بدن تا حد زیادی از رابطه زیر بدست آید:

$$R_a \times \rho_a = R_t \times \rho_t \Rightarrow R_t = \frac{3.95 \times 1.293 \times 10^{-3}}{1} = 5.1 \times 10^{-3} \ cm$$

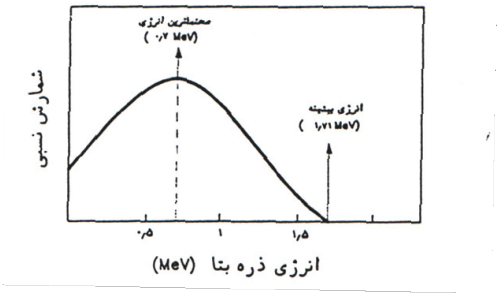
مثال

- برد ذرات آلفا با انرژی 5Mev در آلومینیوم چقدر است؟
- برد همین ذرات در بافت و پلی اتیلن (CH_2) چقدر خواهد بود؟

(چگالی آلومینیوم برابر ۲.۷ گرم بر سانتی متر مکعب و چگالی پلی اتیلن را برابر ۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر بگیرید)

واکنش پرتو بتا با ماده

- همانطور که قبلا ذکر گردید ذرات بتا تک انرژی نبوده بلکه دارای طیف پیوسته ای از انرژی هستند. بعنوان مثال طیف انرژی ذرات بتا ناشی از فسفر ۳۲ در شکل زیر دیده میشود.

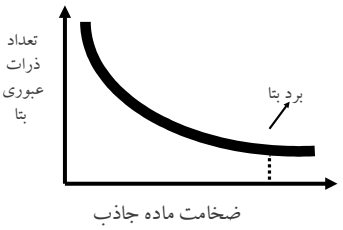


واکنش پرتو بتا با ماده :

رابطه برد – انرژی :

با قرار دادن ضخامت های مختلفی از ماده جاذب در فاصله میان چشمه بتا و آشکار ساز پرتو بتا و شمارش تعداد ذرات بتای عبوری ، می توان برد بتا را اندازه گیری کرد .

هر چه ضخامت ماده جاذب بیشتر شود ، بتای عبوری کمتر می شود تا نقطه برد بتا که در آن با افزایش ضخامت دیگر میزان عبور تغییر نمی کند .



نکته : به دلیل وجود پرتوهای زمینه این میزان صفر نمی شود .

واکنش پرتو بتا با ماده (ادامه...)

نیم ضخامت جذب کننده :

مقدار ضخامتی از ماده جاذب است که بتواند نیمی از ذرات چشمه را متوقف کند . معمولا نیم ضخامت پرتو β^- 8/1 برد پرتو βاست

نمودار انرژی بتا تقریبا به صورت توزیع نرمال است .
بین میزان انرژی ذرات بتا و پرتوهای بتای عبوری رابطه مستقیم وجود دارد. به طوری که هر چه انرژی ذرات β بیشتر باشد ، پرتوهای بتای عبوری نیز بیشتر است .

واکنش پرتو بتا با ماده (ادامه...)

هنگامی که چگالی ماده جاذب افزایش می یابد ضخامت مورد لزوم ماده جذب کننده کاهش خواهد یافت .

بدین ترتیب قدرت جذب انرژی پرتو بتا عمدتاً به چگالی سطحی الکترون های جاذب (الکترون های موجود در هر سانتی متر مربع ماده جاذب) و همچنین تا حد کمتری به عدد اتمی ماده جاذب بستگی دارد .

در موارد عملی هنگام محاسبه ضخامت حفاظ عدد اتمی را کنار می گذارند .

در صورتی که ضخامت ماده جاذب را مستقل از جنس بدست آورند ضخامت خطی حاصل می شود .

واکنش پرتو بتا با ماده (ادامه...)

برای تاثیر دادن جنس حفاظ یا ماده جاذب علاوه بر ضخامت آن از ضخامت جرمی استفاده می کنند که بصورت زیر محاسبه می شود :

$$R_m = \rho \times t_l$$

$$R_{\max} = 407 \times E_{\max}^{1.38} \qquad \longrightarrow 0.15 < E_{\max} < 0.8$$

$$R_{\max} = 542 \times E_{\max} - 133 \qquad \longrightarrow 0.8 < E_{\max} < 3$$

R_m = ضخامت جرمی gr/cm^2

ρ = دانسیته ماده gr/cm^3

t_l = ضخامت خطی (معمولی) cm

$E_{\max}$ = انرژی بیشینه پرتو بتا بر حسب Mev

مثال

- حداکثر برد ذرات بتا با انرژی 2Mev درهوا و آلومینیوم چقدر است؟
- حل:

$$\rho_{air} = 1.293 \ mg/cm^3$$

$$\rho_{Al} = 2700 \ mg/cm^3$$

$$R_{\max} = 542 \times 2 - 133 = 951 \ mg/m^2 \ or \ 0.951 \ g/cm^2$$

$$t_{l(air)} = \frac{0.951}{1.293 \times 10^{-3}} = 735.5 \ cm \ or \ 7.35 \ m$$

$$t_{l(Al)} = \frac{0.951}{2.7} = 0.35 \ cm$$

احتمال در برخورد بتا با هر ماده

۱) ایجاد اثر یونیزاسیون و تحریک (یونش و برانگیزش)
۲) تابش ترمزی
۳) اثر تابش چرنکوف
۴) اثر پس پراکندگی

ایجاد اثر یونیزاسیون و تحریک (یونش و برانگیزش)

چون نیروهای الکتریکی از فواصل دور اثر می کنند برخورد بین ذره بتا و الکترون همانند برخورد بین قطب های همنام دو آهنربا بدون تماس واقعی بین دو ذره است .

E_k = انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده
E_t = مقدار افت انرژی ذره بتا در حین برخورد
ϕ = پتانسیل یونش محیط جاذب

$$E_k = E_t - \phi$$

در صورتی که انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده بیش از ۱۰۰۰ ev شود که بتواند فاصله ای طولانی را بپیماید رگه ای یونشی بر جا می گذارد که به آن پرتو دلتا می گویند . این پرتو معمولا در مواد هدفی که پتانسیل یونسازی آن ها کم است ایجاد میشود تا اختلاف انرژی پرتو β بتا با پتانسیل یونسازی بیش از ۱۰۰۰ ev شود .

تابش ترمزی

هر گاه ذره بتا به میدان الکتریکی با بار منفی برسد سرعتش کم شده و انرژی آن کاسته می شود این کاهش انرژی به صورت فوتون نمایان می شود که پرتو ترمزی نامیده می شود کسری از انرژی بتا که تبدیل به فوتون خواهد شد به دو عامل بستگی دارد :

الف) انرژی بتا : هر چه انرژی پرتو بتا بیشتر باشد احتمال تولید فوتون نیز بیشتر است .

ب)عدد اتمی عنصر هدف : هر چه اتم سنگین تر باشد احتمال تولید فوتون بیشتر خواهد بود .

f = **احتمال ایجاد فوتون (درصدی از انرژی پرتو بتا که به فوتون تبدیل می شود)**
Z = **عدداتمی ماده جاذب**
$E_{\max}$ = **انرژی بیشینه ذره بتا بر حسب Mev**

$$f = 3.5\times10^{-4}\times Z\times E_{\max}$$

تابش ترمزی (ادامه...)

f= **احتمال ایجاد فوتون**
ϕ = **شار تابشی پرتو ترمزی**
$4\pi r^2$= **سطح کروی انتشار پرتو بتا(در صورت کوچک بودن ابعاد چشمه)**
E_β = **انرژی تابیده شده توسط پرتوβبتا**
A= **اکتیویته بر حسب بکرل**

$$\phi = \frac{fE_\beta}{4\pi r^2 E_{\max}}$$

$$E_\beta = \frac{1}{3}E_{\max}\times A$$

چون با افزایش عدد اتمی احتمال تولید تابش ترمزی افزایش می یابد ، حفاظ های پرتو بتا از موادی که عدد اتمی آن ها کمترین است و عملا نیز قابل استفاده اند ، انتخاب می شود .

در عمل حفاظ های با عدد اتمی بزرگتر از ۱۳ چندان مورد استفاده نیستند .

مثال

- چشمه بسیار کوچکی از فسفر ۳۲ (انرژی ماکزیمم پرتو بتا برابر ۱.۷۱ میلیون الکترون ولت) با فعالیت ۱ کوری در داخل یک محفظه سربی قرار دارد و ضخامت حفاظ درست به اندازه ای است که از خروج ذرات بتا جلوگیری میکند. شار تابشی ترمزی در فاصله ۱۰ سانتی متری از چشمه چقدر است؟

$$E_{\max} = 1.71\,Mev,\quad Z_{pb} = 82$$

- انرژی میانگین پرتو بتا در حدود ۳/۱ انرژی ماکزیمم آن است انرژی تابیده شده توسط ذرات بتا بر f حفاظ برابر است با: $f = 3.5\times10^{-4}\times82\times1.71 = 0.049$

- و شار فوتونهای تابشی ترمزی در فاصله ۱ از رابطه زیر بدست می آید: $E_\beta = \frac{1}{3}E\times3.7\times10^{10} = \frac{1}{3}\times1.71\times3.7\times10^{10}$

$$\phi = \frac{fE_\beta}{4\pi r^2 E_{\max}} = \frac{0.049\times\frac{1}{3}\times1.71\times3.7\times10^{10}}{4\pi\times10^2\times1.71} = 4.8\times10^5 \quad photon/cm^2/s$$

اثر تابش چرنکوف

در صورتی که سرعت ذره بتا هنگام عبور از محیط از سرعت نور بیشتر باشد ، سرعت ذره تا سرعت سیر نور کاهش پیدا می کند که این کاهش معمولا به صورت طیف نور مرئی نمایان می شود که به آن پرتو چرنکوف می گویند با افزایش ضریب شکست محیط گسیل تابشی چرنکوف تشدید می شود .

افت انرژی توسط اثر چرنکوف حدود یک هزارم افت انرژی توسط اثرات یونیزاسیون و تهییج است. این اثر در آنالیز مواد و آشکار سازی کاربرد دارد.

اثر پس پراکندگی

برخی مواقع این احتمال وجود دارد که پرتوهای بتا پس از برخورد با محیط درست در راستای اولیه ولی در خلاف جهت پراکنده شوند . در این صورت پس پراکندگی رخ می دهد و این اثر به عدد اتمی ، ضخامت محیط جاذب بستگی دارد و با افزایش عدد اتمی احتمال پراکندگی افزایش می یابد .

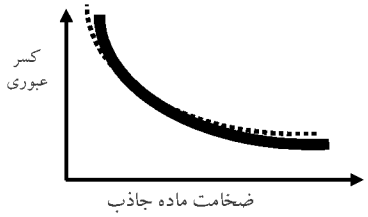
این اثر در آنالیز مواد کاربرد دارد.

واکنش پرتو گاما با ماده :

جذب نمایی :

واکنش پرتوهای گاما با پرتوهای بتا و آلفا فرق دارد به طوریکه در مورد تابش گاما با افزایش ضخامت ، جاذب فقط از شدت تابش کاسته می شود و جذب کامل صورت نمی گیرد بنابراین در محور عمودی نمودار ما با کسر عبوری روبرو هستیم .

اگر اندازه گیری تضعیف پرتو گاما در شرایط هندسی خوب یعنی با استفاده از یک باریکه تابش باریک و کاملا موازی صورت گیرد و پرتو گاما تک انرژی باشد ، یک خط مستقیم در نمودار نمایان می شود و در صورتی که پرتو گاما چند انرژی (چند رنگ) باشد نمودار به صورت نقطه چین می باشد .



واکنش پرتو گاما با ماده (ادامه...)

I_0 = شدت پرتو گاما در ضخامت صفر ماده جاذب
I = شدت پرتو گاما پس از عبور از ضخامت t در جاذب
e = پایه ی دستگاه لگاریتم طبیعی
μ = شیب منحنی جذب یا ضریب تضعیف
t = ضخامت ماده جاذب

$$\frac{I}{I_0}=e^{-\mu t}$$

ضریب تضعیف کل : عبارتست از کسری از باریکه پرتو گاما که در طی گذار از واحد ضخامت ماده جاذب ناپدید می شود .

$$\lim \frac{\Delta i/i}{\Delta t}=-\mu$$

$\Delta i/i$ = کسری از پرتو گاما که در طی عبور از ماده جاذبی به ضخامت Δt ناپدید می شود

ضریب تضعیف خطی

از آنجا که در یک معادله نمایی لازم است که نما بدون بعد باشد بعد μ و t باید عکس یکدیگر شود یعنی اگر ضخامت جاذب بر حسب سانتیمتر اندازه گیری شود آنگاه بعد ضریب تضعیف که ضریب تضعیف خطی یا خوانده می شود با μ_l سانتیمتر به توان منفی یک باشد.

به ضریب تضعیف خطی سطح مقطع ماکروسکوپیک نیز می گویند.

ضریب تضعیف جرمی

اگر t بر حسب گرم بر سانتیمترمربع باشد در این صورت ضریب جذب را ضریب تضعیف جرمی یا گویند که بعد آن باید برابر گرم بر سانتیمتر مربع به توان منفی یک باشد. μ_m

$$\mu_l = \mu_m \times \rho$$

μ_l = ضریب تضعیف خطی
μ_m = ضریب تضعیف جرمی
ρ = چگالی ماده جاذب

ضریب تضعیف اتمی :

کسری از باریکه پرتو گاما که بر اثر یک اتم منفرد ناپدید می شود را ضریب تضعیف اتمی یا میگویند به عبارت دیگر ضریب تضعیف اتمی همان احتمال برهم کنش یک اتم از ماده جاذب با یکی از فوتون های موجود در باریکه خواهد بود. μ_a

به ضریب تضعیف اتمی سطح مقطع میکروسکوپیک نیز می گویند.

$$\mu_a = \frac{\mu_l}{N}$$

N = تعداد اتمهای موجود در هر سانتیمتر مکعب از ماده جاذب
μ_a = ضریب تضعیف اتمی
μ_l = ضریب تضعیف خطی

یکایی که برای اندازه گیری سطح مقطع به کار می رود بارن نام دارد که

$$1b = 10^{-24} cm^2$$

جدول ضرایب تضعیف خطی :

		انرژی فوتون													
	$\rho=g/cm^3$	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۸	۱/۰	۱/۵	۲	۳	۵	۸	۱۰
C	۲/۲۵	۰/۳۳۵	۰/۳۰۱	۰/۲۷۴	۰/۲۳۸	۰/۱۹۶	۰/۱۵۹	۰/۱۴۳	۰/۱۱۷	۰/۱۰۰	۰/۰۸۰	۰/۰۶۱	۰/۴۸	۰/۰۴۴
Al	۲/۷	۰/۴۳۵	۰/۳۶۲	۰/۳۲۴	۰/۲۷۸	۰/۲۲۷	۰/۱۸۵	۰/۱۶۶	۰/۱۳۵	۰/۱۱۷	۰/۰۹۶	۰/۰۷۶	۰/۰۶۰	۰/۰۶۲
Fe	۷/۹	۲/۷۲	۱/۴۴۵	۱/۰۹۰	۰/۸۳۸	۰/۶۵۵	۰/۵۲۵	۰/۴۷۰	۰/۳۸۳	۰/۳۲۵	۰/۲۸۵	۰/۲۴۷	۰/۲۳۳	۰/۲۳۲
Cu	۸/۹	۳/۸۰	۱/۸۳۰	۱/۳۰۹	۰/۹۶۰	۰/۷۳۰	۰/۵۸۱	۰/۵۲۰	۰/۴۲۴	۰/۳۷۲	۰/۳۱۸	۰/۲۸۱	۰/۲۷۰	۰/۲۲۱
Pb	۱۱/۳	۵۹/۷	۲۰/۸	۱۰/۱۵	۴/۰۲	۱/۶۴	۰/۹۴۵	۰/۷۲۱	۰/۵۷۹	۰/۵۱۶	۰/۴۷۶	۰/۴۸۲	۰/۵۱۸	۰/۵۵۲
هوا	۱/۲۹ $\times 10^{-3}$	۱/۹۵ $\times 10^{-4}$	۱/۷۳ $\times 10^{-4}$	۱/۵۹ $\times 10^{-4}$	۱/۳۷ $\times 10^{-4}$	۱/۱۲ $\times 10^{-4}$	۹/۱۲ $\times 10^{-5}$	۸/۴۵ $\times 10^{-5}$	۶/۶۷ $\times 10^{-5}$	۵/۷۵ $\times 10^{-5}$	۴/۶ $\times 10^{-5}$	۳/۵۴ $\times 10^{-5}$	۲/۸۴ $\times 10^{-5}$	۵۲/۶۱ $\times 10^{-5}$
آب	-	۰/۱۶۷	۰/۱۴۹	۰/۱۳۶	۰/۱۱۸	۰/۰۹۷	۰/۰۷۹	۰/۰۷۱	۰/۰۵۶	۰/۰۴۹	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۲
بتون	۲/۳۵	۰/۳۹۷	۰/۳۲۶	۰/۲۹۱	۰/۲۵۶	۰/۲۰۴	۰/۱۶۶	۰/۱۴۹	۰/۱۲۲	۰/۱۰۵	۰/۰۸۵	۰/۰۶۷	۰/۰۵۷	۰/۵۵۴

مثال

- برنز آلومینیومی آلیاژی است که ۹۰٪ وزن آن از Cu (وزن اتمی ۶۳.۵۷) و ۱۰٪ آن از Al (وزن اتمی ۲۷) و چگالی آن برابر ۷.۶ گرم بر سانتی متر مکعب است. ضرایب تضعیف خطی و جرمی این آلیاژ را برای پرتوهای گاما با انرژی ۰.۴ میلیون الکترون ولت پیدا کنید. سطح مقطع مس و آلومینیوم برای این پرتو برابر ۹.۹۱ و ۴.۴۵ بارن در نظر بگیرید.

$$\mu_l = N \times \mu_a$$

$$\mu_l = \mu_{a(Cu)} \times N_{Cu} + \mu_{a(Al)} \times N_{Al}$$

$$N_{Cu} = \frac{6.03\times10^{23}}{63.57} \times 7.6 \times 0.9 = 6.49\times10^{22} \ \ atom/cm^3,$$

$$N_{Al} = \frac{6.03\times10^{23}}{27} \times 7.6 \times 0.1 = 1.7\times10^{22} \ \ atom/cm^3$$

$$\mu_l = 9.91\times10^{-24} \times 6.49\times10^{22} + 4.45\times10^{-24} \times 1.7\times10^{22} = 0.705 \ cm^{-1}$$

$$\mu_m = \frac{\mu_l}{\rho} = \frac{0.705}{7.6} = 0.0927 \ \ cm^2/g$$

مثال

- ضخامت ماده جاذب از نوع آلومینیوم و سرب چقدر باید باشد تا ۱۰٪ از باریکه ظریفی از تابش گاما به انرژی ۰.۱ Mev عبور کند؟
- حل از جدول ضرایب تضعیف خطی آلومینیوم و سرب:

$$\mu_{l(pb)} = 59.7 \ cm^{-1}, \ \ \mu_{l(Al)} = 0.435 \ \ cm^{-1}$$

$$\frac{I}{I_0} = 0.1 = e^{-0.435\times t_{Al}} \Rightarrow t_{Al} = 5.3 \ cm$$

$$0.1 = e^{-59.7\times t_{pb}} \Rightarrow t_{pb} = 0.0385 \ cm$$

مثال

- محاسبه قسمت اسلاید قبل برای پرتوی گاما با انرژی ۱ میلیون الکترون ولت؟

$$\mu_{l(pb)} = 0.771 \ cm^{-1} \ \ , \mu_{l(Al)} = 0.166$$

$$0.1 = e^{-0.166\times t_{Al}} \Rightarrow t_{Al} = 13.86 \ cm$$

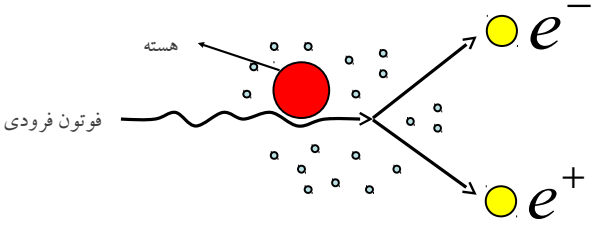
$$0.1 = e^{-0.771\times t_{pb}} \Rightarrow t_{pb} = 2.97 \ \ cm$$

٤ روش برخورد پرتو گاما با ماده :

۱) ایجاد زوج یون
۲) پراکندگی کامپتون
۳) جذب فوتو الکتریک
۴) فروپاشی فوتونی

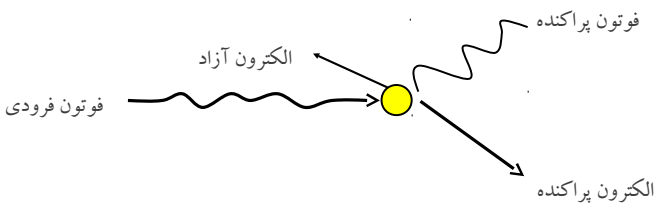
ایجاد زوج یون

در صورتی که انرژی پرتو گاما بیشتر از ۰۲/۱ Mev باشد و به هسته ی عنصر سنگین برخورد کند انرژیش به صورت یک پوزیترون و یک الکترون پدیدار می شود . هر چه عدد اتمی عنصر هدف بیشتر باشد احتمال تولید زوج یون بیشتر می شود .



پراکندگی کامپتون

در این حالت فوتون به الکترونی برخورد می کند که وابستگی زیادی به هسته ندارد یعنی انرژی بستگیش به اتم خیلی کمتر از انرژی فوتون فرودی است (الکترون آزاد) بخشی از انرژی فوتون صرف خروج الکترون از مدار شده و بقیه انرژی به همان شکل فوتون در جهت دیگری پراکنده می شود . حاصل برخورد یک الکترون سریع و بخشی از پرتو گاما با انرژی کمتر از انرژی اولیه است .



جذب فوتو الکتریک

اگر فوتونی به الکترونی از اتم برخورد کند که وابستگی انرژیک آن به هسته زیاد باشد تمام انرژی فوتون در برخورد با الکترون از دست رفته و به عبارتی فوتون نابود شده و کل انرژی به الکترون داده می شود و انرژی الکترون برابر با انرژی فوتون منهای انرژی وابستگی آن به هسته خواهد بود .

$$E_e = E_\gamma - E$$

هر چه هسته سنگین تر باشد این احتمال افزایش می یابد .

فروپاشی فوتونی

معمولا در انرژی های خیلی بالا اتفاق می افتد و در این احتمال فوتون به داخل هسته نفوذ می کند و انرژی فوتون صرف بالا بردن سطح انرژی هسته می شود که نتیجه آن در بیشتر موارد گسیل نوترون از هسته است . تمام موارد ذکر شده در مورد پرتو گاما در مورد پرتوX هم قابل تعمیم است .

واکنش پرتو نوترون با ماده

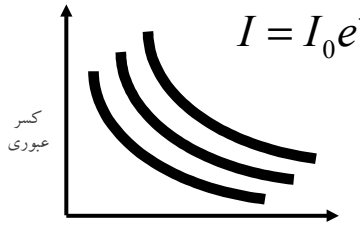
از آنجا که نوع واکنشی که نوترون انجام می دهد قویا به انرژیش وابسته است نوترون ها را بر حسب انرژیشان رده بندی می کنند . نوترون های پر انرژی را که انرژیشان بیش از حدود ۱/۰ Mev است را نوترون های تند می گویند. در طرف دیگر طیف انرژی نوترون های گرمایی را باید نام برد که میانگین انرژِ جنبشیشان همانند میانگین انرژی مولکول هایی است که در همان محیط قرار دارند .
از نوترون هایی که انرژیشان در ناحیه ی میانی انرژی گرمایی و تند قرار می گیرد با عناوین نوترون های میانی ، نوترون های تشدیدی و نوترون های کند یاد می کنند .

نوترون حرارتی	$E_n < 0.5\ ev$
نوترون فوق حرارتی	$0.5\ ev < E_n < 1\ ev$
نوترون میانی	$1\ ev < E_n < 10\ kev$
نوترون تند	$10\,kev < E_n < 1\,Mev$
نوترون خیلی تند	$E_n > 1\,Mev$

برهم کنش

همه نوترون ها به هنگام تولید نوترون های تند به شمار می روند به طور کلی نوترون های تند ابتدا بر اثر برخورد کشسان با اتمهای محیط انرژیشان را از دست می دهند و پس از کند شدن و رسیدن به انرژی گرمایی یا نزدیک به آن توسط هسته های ماده ی جاذب گیراندازی می شوند .
هنگامی که ماده ی جذب کننده را در مقابل باریکه ای موازی از نوترون ها قرار می دهیم و مانند پرتوهای گاما شدت نوترون های عبوری را اندازه گیری می کنیم ملاحظه می شود که نوترون ها هم به طور نمایی از باریکه محو می شوند .

$$I = I_0 e^{-\delta N t}$$



I_0 = شدت انرژی اولیه پرتو نوترون
I = شدت انرژی پرتو نوترون پس از عبور از حفاظ
δ = سطح مقطع میکروسکوپیک (ضریب تضعیف اتمی)
e = پایه دستگاه لگاریتم طبیعی
t = ضخامت ماده جاذب cm
N = تعداد اتم های جاذب
δN = سطح مقطع ماکروسکوپیک (ضریب تضعیف خطی)

سطح مقطع نوترون شدیداً وابسته به انرژی است

مثال

- در آزمایشی که برای اندازه گیری سطح مقطع کل سرب برای نوترونهای ۱۰ میلیون الکترون ولت طراحی شده بود معلوم شد که ۱ سانتی متر از ماده جاذب سرب شار نوترون را به ۸۴.۵٪ از مقدار اولیه اش تقلیل میدهد. وزن اتمی سرب برابر ۲۰۷.۲۱ و وزن مخصوص آن ۱۱.۳ است. سطح مقطع کل سرب را محاسبه کنید.

$$N = \frac{6.03\times10^{23}}{207.21}\times 11.3 = 3.29\times10^{22}\ \ atom/cm^3$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\sigma N t} \Rightarrow 0.845 = e^{-\sigma\times3.29\times10^{22}\times1} \Rightarrow \sigma = 5.1\times10^{-24}\ \ cm^2$$

سطح مقطع میکروسکوپیک

$$\Rightarrow \sigma = 5.1\ barn$$

سطح مقطع ماکروسکوپیک

$$\sigma N = 5.1\times10^{-24}\times3.29\times10^{22} = 0.168\ \ cm^{-1}$$

روش های برخورد نوترون با ماده

برخوردهای از نوع پراکندگی: در این نوع برخوردها ماهیت ماده عوض نمیشود که خود عمدتا به دو دسته تقسیم میشود:

پراکندگی کشسان
پراکندگی غیر کشسان

در دو نوع فوق نوترونهای تند و خیلی تند غالب هستند.

برخوردهای از نوع گیر اندازی: در این برخوردها هویت ماده جاذب عوض میشود و عمدتا شامل چهار دسته اند:

جذب
پرتوزاکردن
شکافت
در هم پاشی

در سه نوع اول نوترونهای حرارتی و فوق حرارتی و در نوع آخر نوترونهای خیلی تند غالب هستند

برخورد کشسان

- در این برخورد نوترونهای تند و خیلی تند بخشی از انرژی خود را به هسته اتم منتقل نموده و موجب پراکنده شدن آن میشوند.
- در این برخوردها کسری از انرژی که به محیط با جرم اتمی M منتقل میشود از رابطه زیر بدست می آید:

$$f = \frac{2M}{(M+1)^2}$$

- ملاحظه میشود هر قدر محیط سبکتر باشد انرژی بیشتری از نوترون به آن منتقل میشود.

برخورد غیرکشسان

- در این برخورد نوترونهای تند و خیلی تند بخشی از انرژی خود را به هدف (معمولا با عدد اتمی بالا) منتقل میکنند وخود با انرژی کمتری پراکنده میشوند بدون آنکه هسته اتم از جای خود حرکت کند و فقط بر انگیخته میشود که حاصل یک پرتو گاما یا پروتون یا آلفا خواهد بود. این برخورد بیشتر با اتمهای سنگین اهمیت دارد بنابر این از نظر بافت اهیمت چندانی ندارد.

برخورد جذب و پرتو زا کردن

- در برخورد جذب، نوترونهای حرارتی و فوق حرارتی جذب هسته هدف شده و حاصل آن یک پرتو گاما یا پرتون یا آلفا خواهد بود.
- چنانچه هسته حاصل از برخورد جذب پرتوزا باشد در اینصورت آنرا برخورد پرتوزاکردن گویند.
- برخوردهای از نوع پرتوزاکردن در اندازه گیری شار نوترونها ، تهیه و تولید رادیو ایزوتوپها ، آنالیز کمی وکیفی مواد ، تعیین مقدار پرتوگیری نوترون در سوانح هسته ای و.. کاربرد دارند.

مثالهائی از برخورد جذب و پرتوزا کردن

جذب (اهمیت در بافت)	$n+^{1}H \rightarrow ^{2}H+\gamma$
جذب و پرتوزاکردن (اهمیت در بافت)	$n+^{14}N \rightarrow ^{14}C+p$
جذب (اهمیت در آشکارسازی)	$n+^{10}B \rightarrow ^{7}Li+\alpha$
جذب (اهمیت در آشکارسازی)	$n+^{113}Cd \rightarrow ^{114}Cd+\gamma$

پرتوزاکردن	$n+^{27}Al \rightarrow ^{28}Al+\gamma$
پرتوزاکردن	$n+^{64}Cu \rightarrow ^{65}Cu+\gamma$
پرتوزاکردن	$n+^{50}Cr \rightarrow ^{51}Cr+\gamma$
پرتوزاکردن	$n+^{197}Au \rightarrow ^{198}Au+\gamma$

برخورد شکافت و در هم پاشی

- **برخورد شکافت:**

در این برخورد، یک نوترون حرارتی ویا تند جذب یک اتم سنگین نظیر اورانیوم ۲۳۸ و پلوتونیوم ۲۳۹ شده و آنرا به دو پاره سبکتر وتعدادی نوترون و ذرات باردار تقسیم می کنند.

- **برخورد درهم پاشی:**

در این نوع برخورد، نوترونهای خیلی تند در حدود چند ده مگا الکترون ولت جذب هسته هدف شده و هسته مرکب تشکیل میشود که این هسته پاره پاره شده و چندین ذره و پاره های هسته ای و نوترون و فوتون تولید میشود.

فعالسازی نوترونی

فعالسازی نوترونی عبارتست از تولید یک نوع ایزوتوپ پرتوزا از طریق جذب نوترون.

فعالسازی بدین معنی است که هر ماده ای که تحت تابش نوترون قرار می گیرد ممکن است به ماده ای پرتوزا تبدیل شود یعنی پس از خاتمه ی تابش نوترون هم ممکن است خطر تابش همچنان باقی بماند. همچنین با استفاده از فعالسازی میتوان به روش ساده ای شار نوترون ها را اندازه گیری کرد.

آهنگ واپاشی - آهنگ تولید = آهنگ افزایش اتم های پرتوزا

$$\frac{dN}{dt} = \phi\sigma n - \lambda N$$

ϕ = شار یا تعداد نوترون ها در سانتی متر مربع در ثانیه
σ = سطح مقطع فعالسازی بر حسب سانتی متر مربع
λ = ثابت واپاشی نمونه پرتوزای حاصل
N = تعداد اتم های پرتوزا
n = تعداد اتم های هدف

جنبه های بهداشتی پرتوهای یونساز

جلسه هفتم

کمیتها و یکاها

در سال ۱۹۲۵ مرجعی در سطح بین المللی بنام کمیسیون بین المللی واحدها و اندازه گیری رادیولوژیکی (International Commission on Radiological Units) ICRU)) شروع بکار کرد.

1. انرژی پرتو (Radiation Energy) :

یکای انرژی در حفاظت در برابر اشعه الکترون ولت (ev) است.

۱ evعبارتست از انرژی کسب شده توسط یک الکترون در خلاء هنگامیکه از اختلاف پتانسیل یک ولت عبورمیکند

سایر یکاهای انرژی عبارتند از کیلو الکترون ولت (kev) ، میلیون الکترون ولت (Mev) و..

کمیتها و یکاها

2. پرتودهی و آهنگ پرتودهی (Exposure & Exposure rate) :

پرتودهی کمیتی است که برای سنجش میزان فوتونها ی ایکس و گاما در هوا بکار برده میشود. این کمیت کل بارهای هم علامت تولید شده توسط فوتونها در واحد جرم هوا را اندازه گیری میکند.

آهنگ پرتودهی کمیتی است که کل بارهای هم علامت تولید شده توسط فوتونها در واحد جرم هوا را در واحد زمان اندازه گیری میکند.

اولین وقدیمیترین واحد پرتودهی رونتگن R است.

۱ R عبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند میزان ۰.۰۰۰۲۵۸ کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوای خشک تولید کند.

و اولین وقدیمترین یکای آهنگ پرتودهی رونتگن بر ثانیه R/s است.

۱ R/s عبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند میزان ۰.۰۰۰۲۵۸ کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوای خشک در یک ثانیه تولید کند.

کمیتها و یکاها

پرتودهی و آهنگ پرتودهی

- یکای جدید پرتودهی کولن بر کیلوگرم (C/kg) هوا می باشد.
  - 1C/kgعبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند در شرایط متعارفی یک کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوا تولید نماید.
- یکای جدید آهنگ پرتودهی کولن بر کیلوگرم بر ثانیه (C/kg.s) می باشد
  - 1C/kg.sعبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند در شرایط متعارفی یک کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوا دریک ثانیه تولید نماید.

$$1R = 2.58\times10^{-4}\ \ C/kg \qquad 1\ C/kg = 3876\ R$$

کمیتها و یکاها

3. کرما و آهنگ کرما (KERMA & KERMA Rate) :

- کرما (Kinetic Energy Released in Matter, KERMA) کمیتی است که مجموع انرژی جنبشی ذرات باردار تولید شده ناشی از پرتوهای غیر مستقیم یونساز را در واحد جرم ماده اندازه گیری میکند.
- یکای جدید کرما، گری (Gray) است و یکای قدیم آن راد (rad) است.
- آهنگ کرما، کمیتی است که مجموع انرژی جنبشی اولیه ذرات باردار تولید شده ناشی از پرتوهای غیر مستقیم یونساز را در واحد جرم ماده و در واحد زمان اندازه گیری میکند.
- یکای جدید آهنگ کرما، گری (Gy/s) است و یکای قدیم آن راد (rad/s) است.

کمیتها و یکاها

4. دز جذب شده و آهنگ دز جذب شده:

(Absorbed Dose & Absorbed dose rate)

دز جذب شده (D) کمیتی است که انرژی جذب شده از کلیه پرتوها در واحد جرم هر ماده را اندازه گیری میکند.

یکای دز جذب شده در دستگاه بین المللی یکاها ژول بر کیلوگرم ماده میباشد که نام ویژه آن گری (Gray) است و آنرا با Gy نشان میدهند.

1Gy عبارتست از انرژی معادل ۱ J ناشی از انواع پرتوها که به ۱ kg از ماده منتقل می شود

یکای قدیم دز جذب شده راد (rad) می باشد.

۱ rad عبارتست از انرژی معادل ۰.۰۱ زول ناشی از انواع پرتوها که به۱ kg از ماده منتقل میشود

۱ rad= 0.01 Gy

کمیتها و یکاها

دز جذب شده و آهنگ دز جذب شده

آهنگ دز جذب شده کمیتی است که انرژی جذب شده ناشی از کلیه پرتوها در واحد جرم هر ماده را درواحد زمان اندازه گیری میکند.

- یکاهای آهنگ دز جذب شده عبارتند از Gy/s (جدید) و rad/s (قدیم)
  - ۱ Gy/s عبارتست از انرژی معادل ۱ J ناشی از انواع پرتوها که به ۱ kg از ماده در یک ثانیه منتقل میشود.
  - ۱ rad/s عبارتست از انرژی معادل ۰.۰۱ J ناشی از انواع پرتوها که به ۱ kg از ماده در یک ثانیه منتقل میشود.

۱ rad/s = 0.01 Gy/s

کمیتها و یکاها
رابطه پرتودهی و دز جذب شده

- با توجه به مفهوم پرتودهی جهت محاسبه تعداد جفت یونهای تولید شده بازاء ۱ C/kg کافیست مقدار را بر بارالکترون تقسیم نمود:

$$\frac{1C/kg}{1.6\times10^{-19}\,C/ion} = 6.25\times10^{18}\ ion/kg$$

- انرژی لازم جهت تولید زوج یون، میانگین افت انرژی نام دارد که برای هوا معادل ۳۴ ev/ion می باشد لذا:

- مقدار دز جذب شده بر حسب (ev/kg) و دز جذب شده بر حسب J/kg بصورت زیر بدست می آید:

$$6.25\times10^{18}\,(ion/kg)\times34\,(ev/ion) = 2.125\times10^{20}\,ev/kg$$

$$2.125\times10^{20}\,(ev/kg)\times1.6\times10^{-19}\,(J/kg) = 34\,(J/kg) = 34\,Gy$$

کمیتها و یکاها
رابطه پرتودهی و دز جذب شده (ادامه)

با توجه به اینکه ۳۴ Gy=3400 rad و ۱ C/kg=3876 R لذا میتوان نوشت:

$$3876\ R = 3400\ rad \Rightarrow 1R = \frac{3400}{3876}\,rad \Rightarrow 1R = 0.877\,rad\,(air)$$

بدیهی است ۱ C/kg معادل دز جذب شده ۳۴ Gy در هوا می باشد. چون میانگین افت انرژی در هوا ۳۴ الکترون ولت است.

برای محاسبه دز جذب شده در هر ماده ای باید پرتودهی را در میانگین افت انرژی ماده مورد نظر ضرب کرد که این مقدار برای بافت معادل ۳۷ الکترون ولت است لذا برای بافت خواهیم داشت:

۱ C/kg=37 Gy , 1 R=0.956 rad

کمیتها و یکاها

5. دز عضو و آهنگ دز عضو (Organ Dose& Organ Dose rate)

- دز عضو کمیتی است که انرژی جذب شده از کلیه پرتوها در واحد جرم بافت را اندازه گیری می کند و یکای آن همانند دز جذب شده است.
- آهنگ دز عضو کمیتی است که انرژی جذب شده از کلیه پرتوها در واحد جرم بافت را در واحد زمان اندازه گیری میکند و یکای آن همانند آهنگ دز جذب شده است.
- کمیت دز عضو، متوسط دز جذب شده در یک عضو یا بافت را اندازه گیری می کند.
- در محاسبه دز معادل استفاده میشود.
- یک کمیت مفید در حفاظت در برابر اشعه می باشد.

کمیتها و یکاها

6. دز معادل و آهنگ دز معادل (Equivalent Dose & Equivalent Dose Rate)

- دز معادل کمیتی است که اثرات بیولوژیکی ناشی از جذب انواع پرتوها در بافت را منظور می دارد و برابر با حاصلضرب متوسط دز جذب شده از پرتو R در بافت T در ضریبی بنام ضریب توزین پرتو می باشد.

دز معادل — ضریب توزین — دز جذب شده از پرتو R در بافت T

$$H_{T.R} = W_R \times D_{T.R}$$

کمیتها و یکاها
دز معادل و آهنگ دز معادل

- ضریب توزین پرتو، ضریبی است که کیفیت پرتو (نوع و انرژی پرتو) را جهت محاسبه دز معادل منظور میدارد. مقادیر ضریب توزین برای انواع پرتوها در جدول زیر ارائه شود:

نوع و محدوده انرژی	ضریب توزین پرتو WR
فوتونها (در تمام انرژیها)	1
الکترونها (در تمام انرژیها)	1
نوترونها با انرژی کمتر از 10 kev	5
نوترون با انرژی بین 10-100 kev	10
نوترون با انرژی بین 100 kev- 2 Mev	20
نوترون با انرژی بین 2-20 Mev	10
نوترون با انرژی بیشتر از 20 Mev	5
پروتون با انرژی بیش از 2 Mev	5
ذرات آلفا، پاره های شکافت و هسته های سنگین	20

کمیتها و یکاها
دز معادل و آهنگ دز معادل

یکای دز معادل در دستگاه بین المللی یکاها، همانند یکای دز جذب شده یعنی J/kg است که نام ویژه آن سیورت Sievert میباشد و به Sv نشان داده میشود.

۱ Sv عبارتست از انرژی معادل یک ژول ناشی از پرتوئی خاص که به ۱ kg از بافت منتقل می شود.

یکای قدیم دز معادل رم rem می باشد.

۱ rem عبارتست از انرژی معادل ۰.۰۱ ژول ناشی از پرتوئی خاص که به ۱ kg از بافت منتقل میشود.

۱ rem = 0.01 Sv

کمیتها و یکاها

دز معادل و آهنگ دز معادل

- آهنگ دز معادل کمیتی است که اثرات بیولوژیکی ناشی از جذب انواع پرتوها در بافت را در واحد زمان در نظر میگیرد. برابر حاصلضرب متوسط آهنگ دز جذب شده از پرتوR در بافت T در ضریب توزین می باشد. و یکاهای آن عبارتند از Sv/s (جدید) و rem/s (قدیم).

آهنگ در جذب شده از پرتو R در بافت T

ضریب توزین

آهنگ دز معادل

$$\dot{H}_T = W_R \times \dot{D}_{T,R}$$

- چنانچه میدان پرتو متشکل از انواع پرتوها با مقادیر مختلف W_R باشد. دز معادل کل به بافت و آهنگ دز معادل کل به بافت از روابط زیر محاسبه خواهد شد.

$$H_T = \sum_R W_R \times D_{T,R}\,, \quad \dot{H}_T = \sum_R W_R \times \dot{D}_{T,R}$$

کمیتها و یکاها

دز موثر

- ضریب توزین بافت، ضریبی است که نوع بافت تابش دیده را جهت محاسبه دز موثر در نظر میگیرد. جدول مقابل مقادیر ضریب توزین برای انواع بافتها را ارائه نموده است.
- یکاهای دز موثر همانند یکاهای دز معادل ، یعنی سیورت و رم می باشند.

نوع بافت یا عضو	ضریب توزین بافت WT
غدد تناسلی	0.2
مغز استخوان (قرمز)	0.12
روده بزرگ	0.12
ریه	0.12
معده	0.12
مثانه	0.05
سینه	0.05
جگر	0.05
مری	0.05
تیروئید	0.05
پوست	0.01
سطح استخوان	0.01
سایر اعضاء	0.05

کمیتها و یکاها

7. دز موثر (Effective Dose) :

- دز موثر کمیتی است که علاوه بر اینکه نقش پرتوهای مختلف را در بروز اثرات بیولوژیکی منظور میدارد. نقش پرتوگیری بافتهای مختلف بدن را (در ارتباط با وقوع اثرات آماری، نظیر سرطانها) در نظر میگیرد و برابر است با مجموع حاصلضرب دزهای معادل در ضریبی بنام ضریب بنام ضریب توزین بافت.

ضریب توزین بافت

دزهای معادل

$$E = \sum_T W_T \times H_T$$

کمیتها و یکاها

8. **دز معادل و موثر جمعی** (Collective and Effective Equivalent Dose)

- دز معادل جمعی عبارتست از حاصلضرب میانگین دز معادل دریافتی توسط زیر گروه جمعیتی در تعداد افراد آن زیر گروه
- یا بعبارتی میانگین دز معادل دریافتی توسط یک جمعیت در تعداد آنها
- این کمیت در حقیقت مقیاسی است جهت محاسبه آسیب کلی از یک چشمه پرتوزا بر یک جمعیت
- یکای دز جمعی man.Sv است.
- ۱ man.Sv عبارتست از دریافت ۱ Sv توسط یک نفر یا میانگین ۱ mSv توسط ۱۰۰۰ نفر
- دز موثر جمعی عبارتست از حاصلضرب دز معادل جمعی در فاکتور توزین پرتو و یکای آن man.Sv می باشد.

کمیتها و یکاها

9. **دزمعادل اجباری** (Committed Equivalent Dose)

این کمیت بصورت زیر تعریف میشود:

آهنگ دزمعادل در زمان t در عضو یا بافت T و t زمان سپری شده پس از ورود مواد پرتوزا به بدن است

زمان ورود مواد پرتوزا به بدن

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(\tau)dt$$

اگر t مشخص نباشد، مقدار آن را برای بزرگسالان ۵۰ سال و برای کودکان ۷۰ سال درنظر میگیرند

کمیتها و یکاها

9. **دزموثر اجباری** (Committed Effective Dose)

این کمیت بصورت زیر تعریف میشود:

دزمعادل اجباری در زمان t در عضو یا بافت T

ضریب وزنی بافت T

$$E(\tau) = \sum_T W_T \times H_T(\tau)$$

اگر t مشخص نباشد، مقدار آن را برای بزرگسالان ۵۰ سال و برای کودکان ۷۰ سال درنظر میگیرند

سطح کار (WL)

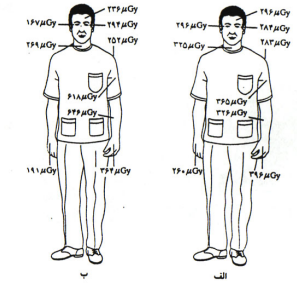
- مجموع کل انرژی پخش شده از ذرات آلفا در طول واپاشی کامل دختران کوتاه عمر رادن (Po 218 و ۲۱۲) در یک واحد حجم هوا
- در سیستم SI یک WL برابر ۰.۰۰۲۰۸ میلی ژول بر مترمکعب هوا می باشد.
- سطح کار ماهیانه (WLM): با در نظر گرفتن ۱۷۰ ساعت کاری ماهیانه یک WL برابر ۵۴/۳ میلی ژول بر متر مکعب هوا می باشد.

چند مثال از دزهای دریافتی در کاربردهای مختلف

- دزهای موثر دریافتی بیماران از روشهای رادیولوژی و پزشکی هسته ای

دز موثر mSv	روش
17	معالجه آرتیتی
12	آنژیو گرافی کرونر
22	آنژیوپلاستی کرونر
21	اسکن با تالیوم 201
8	ونتریکولوگرام با تکنیسیوم 99m

چند مثال از دزهای دریافتی در کاربردهای مختلف



متوسط دز تشعشع به ازاء انجام دادن یک روش برای رادیولوژیست

الف: کاردیولوژیست ب: فردی که در انجام روشهای مداخله ای دخالت دارد

وضعیت پزشکان و پیراپزشکان	انجام یک کاتتریزاسیون، mSv			انجام یک آنژیوپلاستی، mSv			کاشت یک پیس میکر، mSv		
	دز سطحی بدون روپوش	دز سطحی با روپوش	دستها	دز سطحی بدون روپوش	دز سطحی با روپوش	دستها	چشمها	دز سطحی بدون روپوش	دز سطحی با روپوش	دستها	چشمها
کاردیولوژیست	۰/۶	۰/۰۹	۲/۱	۲/۱	۰/۶	۲/۱	۰/۶	۰/۱۲	۰/۱	۰/۲	۰/۰۵
کاردیولوژیستی که حین انجام فلوروگرافی طب می‌ایستد	۰/۲	۰/۰۱	۰/۲	۱/۵	۰/۱	۱/۹	۰/۲	۰/۷	-	-	۰
فن اول رادیولوژی	۰/۰۸	<۰/۰۱	۰/۹	۰/۲	۰/۰۱	۰/۲	۰/۲	۰/۵	<۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱
فن اولی که حین فلوروگرافی طب می‌ایستد	۰/۰۲	<۰/۰۱	-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۳	-	۰
پرستار یا متخصص بیهوشی	۰/۲	۰/۰۲	۰/۲	۰/۸	۰/۰۶	۰/۹	۰/۲	۰/۵	۰/۲	<۰/۰۱	۰/۰۳

دزهای تخمینی دریافت شده توسط پزشکان و پیراپزشکان حین بررسی

رادیو داروها	عضو	دز Rad/mCi	mGy/GBq
99mTc-pertechnetate	کل بدن	0.011	3
	تیروئید	0.13	35.1
	بخش بالائی روده بزرگ	0.12	32.4
	بخش پائینی روده بزرگ	0.11	30
	معده	0.051	13.8
	تخمدان	0.03	8.1
	بیضه ها	0.009	2.4
99mTc-sulfur colloid	کل بدن	0.016	4.3
	کبد	0.38	102.7
	طحال	0.21	56.8
	مغز استخوان	0.028	7.6
)99mTc-diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA	کل بدن	0.016	4.3
	مثانه	0.45	121.6
	کلیه ها	0.04	10.8
	غدد جنسی	0.015	4
)99mTc-macroaggregated albumin (MAA	کل بدن	0.015	4
	شش ها	0.28	75.6
	کلیه ها	0.16	43.2
	کبد	0.08	21.6
	تخمدانها	0.018	4.9
	بیضه ها	0.015	4

جنبه های بهداشتی پرتوها

جلسه هشتم

کاربرد پرتوهای یونساز

- کاربرد در صنعت
- کاربرد در کشاورزی
- کاربرد در پزشکی
- کاربردهای تحقیقاتی
- و...

کاربرد در صنعت

a) رادیوگرافی:

- تشکیل تصویر از ساختمان داخلی اشیاء و اجسام با استفاده از پرتوهای ایکس و گاما
  - در صورتیکه تصویر بر روی فیلم ثبت شود آنرا رادیو گراف (عکس) میگویند.
  - اگر تصویر بطور موقت وآنی روی صفحه فلوروسنت مشاهده شود، آنرا فلوروسکپی (پرتوبینی) میگویند.
- رادیوگرافی بدلیل کیفیت ، قدرت تشخیص بیشتر و ثبت دائمی به فلوروسکپی ارجحیت دارد.
- رادیو گرافی در صنعت برای تشخیص عیوب داخلی اجسام ، از قبیل وجود حفره ها ، ترکها و همچنین کنترل محل جوش دادن لوله ها استفاده میشود.

کاربرد در صنعت
رادیوگرافی (ادامه)

- دررادیوگرافی پرتوها ضمن عبور از نمونه مورد آزمایش بر حسب وضع جسم و ضخامت آن و یا وجود حفره و یا ترک تغییر شدت یافته و از جسم خارج میشود، پرتوهای عبوری بر روی فیلم مخصوص پرتونگاری اثر گذارده و پس از ظهور فیلم تصویری سایه مانند بوجود می آید که در آن وجود ترکهای احتمالی و یا هرنوع عیب و نقص دیگر کاملا مشخص است.
- در رادیوگرافی صنعتی از دستگاههای ثابت و متحرک استفاده میشود.
- دستگاههای ثابت در اتاق تشعشع نصب شده اند
- بدلیل قابلیت استفاده در محیطهای متعدد و کاربرد دستگاههای رادیوگرافی صنعتی متحرک بیشتر است.
  - ازجمله موارد کاربرد این روش بازرسی و کنترل دقیق در موقع ساخت قطعات و بعد از نصب آن در صنایع مختلف است.

کاربرد در صنعت

b) فلوروسکپی:

- پرتوبینی (فلوروسکپی) یعنی مشاهده فوری قسمتهای داخلی نمونه مورد آزمایش
- مشاهده تصویر بصورت مستقیم ویا غیر مستقیم (آینه و یا تلویزیون) امکان پذیر است
- مشاهده غیر مستقیم از نظر ایمنی به مشاهده مستقیم ارجحیت دارد.
- علیرغم پیشرفتهائی که در تکنیک فلوروسکپی انجام گرفته این روش از حساسیت کمتری نسبت به عکس برداری برخوردار است

کاربرد در صنعت

c گاماگرافی

- در صورتیکه برای پرتونگاری بجای پرتو ایکس از گاما استفاده شود این روش را گاماگرافی میگویند.
- مشخصات رایج ترین ایزوتوپهای مورد استفاده در صنعت در جدول مقابل ارائه گردیده است.

نوع ایزوتوپ		نیمه عمر	انرژی فوتون (Mev)	فاصله لازم برای کاهش شدت به 100 میلی روتنگن بر ساعت (m)
سزیوم	137Cs	33 سال	0.6	1.97
کبالت	60Co	4.3 سال	1.33 و 1.17	3.67
ایریدیوم	192Ir	75 روز	0.3 و 0.5	2.35
رادیم	226Ra	1620 سال	0.2	2.9
تولیوم	170Tm	137 روز	0.08	0.32

کاربرد در صنعت
گاماگرافی (ادامه)

- رادیو ایزوتوپهائی که در گاما گرافی مورد استفاده قرار میگیرند باید خصوصیات زیر را دارا باشند:
  - نیمه عمر زیاد
  - انرژی کافی برای پرتونگاری در صنایع
  - اکتیویته ویژه زیاد و کوچک بودن چشمه رادیو ایزوتوپ
- بطور کلی چشمه های مورد استفاده در گاما گرافی خطرناکتر از چشمه های مصرفی در صنعت می باشند
- مقدار دز محلهائی که پرتونگاری انجام می گیرد زیاد است.
  - لذا لازم است چشمه ها در حفاظی مناسب که معمولا از جنس سرب است، نگهداری شود

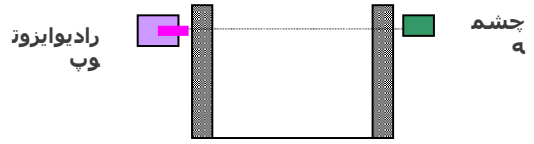
کاربرد در صنعت
گاماگرافی (ادامه)

- گاماگرافی همچون رادیوگرافی شامل دو نوع ثابت و متحرک است.
- گاماگرافی در مقایسه با رادیگرافی دارای مزایای زیر است:
  - انرژی گاما بیشتر است لذا از آن برای پرتونگاری قطعات ضخیم تر نیز میتوان استفاده کرد.
  - رادیوایزوپهای تابش کننده گاما بر خلاف دستگاههای مولد پرتو ایکس تابع برق شهر نبوده و از آنها میتوان در هر محلی استفاده کرد.
  - در صورتیکه کوتاه بودن زمان پرتوگیری مطرح نباشد میتوان از گاما گرافی استفاده نمود
  - با توجه به بازده لوله های مولد ایکس معمولا استفاده از منابع گاما از نظر انرژی بسیار مقرون بصرفه تر هستند.
  - برای نگهداری و راه اندازی لوله های مولد ایکس نیاز به تخصص بالاست.
- علاوه بر گاما گرافی از پرتو گاما کاربردهای بسیار متنوع دیگر میتوان داشت از جمله استفاده در پزشکی (چاقوی گاما) ، برای انبار داری (نگهداری مواد غذائی به مدت طولانی با استفاده از عقیم سازی آنها) و ...

کاربرد در صنعت

c) اندازه گیری و کنترل ارتفاع مایعات در مخازن Level Gauge

- این روش در صنعت بسیار معمول است، چون هیچگونه تماس و اتصالی با مخازن ضروری نیست و اندازه گیری از راه دور با استفاده از این روش ساده و دقیق است.
- کنترل ارتفاع در مخازن بزرگ همانند شکل زیر است:



کاربرد در صنعت
Level Gauge (ادامه)

- دریک طرف مخزن دستگاه آشکار ساز و در طرف دیگر چشمه پرتوزا قرار میگیرد.
- در صورتیکه ارتفاع مایع یا ماده پائین تر از محل قرار گرفتن رادیوایزوتوپ باشد پرتوهای تابش شده بدون برخورد با مایع از دوجدار مخزن عبورکرده و برروی آشکار ساز اثر میگذارند ولی اگر سطح مایع یا ماده بین چشمه و آشکار ساز قرار گیرد پرتوهای تابش شده برای رسیدن به آشکار ساز از ماده عبورکرده و در نتیجه با شدت کمتری به آشکار ساز خواهند رسید.
- آشکار ساز میزان دز و یا کاهش تعداد شمارش را نشان خواهد داد.
- با استفاده از یک سیستم الکترونیکی ارتفاع مایع و یا ماده را میتوان در مخزن ثابت نگه داشت.
- در این روش از پرتوهای گامای سزیوم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ استفاده میشود.

کاربرد در صنعت

d) تعیین ضخامت اجسام Thickness Gauge

- شدت پرتوهای تابش شده از رادیوایزوتوپها ضمن عبور از یک ماده همگن کاهش میابد.
- این کاهش تابع مقدار جرم یا ضخامتی است که در مسیر پرتوها قرار میگیرد
  - ازاین خاصیت برای اندازه گیری و کنترل ضخامت ورقه های فولادی و یا ورقه های نازک پلاستیک و فیلم استفاده میشود.
  - در یک طرف ورقه چشمه و در طرف دیگر آشکار ساز که بر حسب ضخامت مدرج شده است قرار میگیرد (روش عبور) (روش بازتاب هردو آشکار ساز و چشمه در یک طرف ورقه قرار میگیرند)
- یکی از مزایای اندازه گیری به کمک رادیوایزوتوپها اینست که ضمن اندازه گیری نیاز به هیچگونه تماسی با مواد مورد آزمایش نمی باشد.
  - لذا از این روش میتوان ضخامت ورقه های بسیار نازک و یا چسبناک و حتی ورقه های فولاد گداخته را اندازه گرفت.

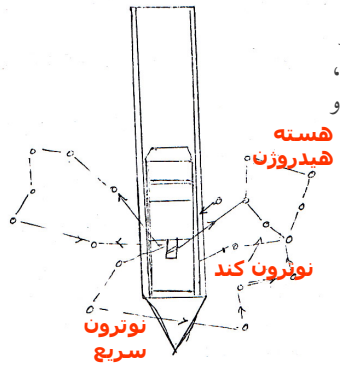
کاربرد در صنعت
Thickness Gauge

- چشمه های مورد استفاده با توجه به قطر یا نازک بودن متفاوت است مثلاً :
  - برای اندازه گیری ورقه های نازک با چگالی کم مانند کاغذ از چشمه های تولیوم ۲۵۴ (254TL)و یا کریپتون ۸۵(85Cr) که پرتو بتا با انرژی متوسط تابش میکند استفاده میشود.
  - برای ورقه های با چگالی کم و ضخامت زیاد مانند ورقه های پلاستیک از چشمه های استرانسیوم ۹۵ (Sr ۹۵) یا پوتریوم ۹۰ (90Pt) که پرتو بتا با انرژی زیاد تابش میکنند ، استفاده میشود.
  - برای ضخامتهای بیشترمثلا ضخامت ورقه های فولادی و غیره از پرتوهای ایکس استفاده میشود.

کاربرد در صنعت

e) اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته

دستگاههای اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته بطور روز افزونی در ساختمانها، معادن ، صنایع و بررسیهای زمین شناسی و خاکشناسی مورد استفاده قرار می گیرد



کاربرد در صنعت
اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته

- ابتدا دستگاهی که در آن چشمه نوترون زا قرار دارد در داخل ماده مورد آزمایش (خاک) میگذارند.
- نوترونهای سریع ، از این منبع بیرون آمده و در ماده پخش میگردد.
- در اثر برخورد با هیدروژنهای ماده مورد آزمایش ، انرژی خود را از دست داده و به نوترون کند تبدیل می شود.
- نوترونهای کند شده را توسط آشکار ساز مخصوص نوترون اندازه گیری می کنند.
- نوترونهای سریع در موقع رسیدن به اتمهای هیدروژن در مولکولهای آب انرژی بیشتری از دست میدهند لذا تغییرا در دستگاه آشکار ساز مخصوص نوترون با مقدار رطوبت موجود درخاک متناسب است.

کاربرد در صنعت
اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته (ادامه)

- برای اندازه گیری چگالی نمونه مورد آزمایش ضمن اندازه گیری رطوبت، یک چشمه گاما در دستگاه قرار داده میشود که دارای پوشش مناسبی است بطوریکه پرتو آن در اندازه گیری رطوبت تأثیری نداشته باشد.
- شدت پرتوهای بازتابی با چگالی نمونه متناسب است.
- مدار الکترونیکی دستگاه علامات الکترونیکی مربوط به نوترونهای کند و گاما را از هم تفکیک مینماید.

لذا در این روش میتوان بطور همزمان چگالی و رطوبت را اندازه گیری نمود.

کاربرد در صنعت
اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته (ادامه)

- امتیازات این روش:

  - نیازی به نمونه برداری نیست.
  - اندازه گیری در یک محل همیشه قابل تکرار است.
  - در حجم نسبتا زیادی امکان پذیر است.
  - اندازه گیری در سطح و همچنین ضخامتهای مختلف امکانپذیر است .

کاربرد در صنعت
سایر کاربردها

f) آنالیزبه روش اکتیواسیون
g) لامپهای الکترونی
h) آشکارسازهای دود و آتش
i) کروماتوگرافی گازی
j) ترکیبات خود نورساز
k) انفجارات هسته ای
l) پردازش پرتوها
m) برقگیرها و.....

کاربرد در کشاورزی

a) ردیابهای رادیو اکتیو
  - پرورش بعضی ازمحصولات کشاورزی
  - تغییر جزئی مواد غذائی
  - اصلاح نژاد در گیاهان و حیوانات
  - مطالعات زیستی

- ردیابهای فعال بر حسب درجه سمیت به چهار دسته تقسیم می شوند :
  - گروه اول: با سمیت خیلی شدید
  - گروه دوم: با سمیت شدید
  - گروه سوم: با سمیت متوسط
  - گروه چهارم: با سمیت سبک

کاربرد در کشاورزی
مثالهائی از ردیابهای با سمیت خیلی شدید

مصارف معمولی	نیمه عمر	پرتوهای اصلی	ایزوتوپ
جذب، متابولیسم ، اثر در زنجیره غذائی و حیوانات	28 سال	بتا	استرانسیوم 90
رسوب در سلولهای و سمیت پرتوئی آن	20 سال	بتا و گاما	سرب 210
بعنوان صادر کننده آلفا در مزرعه چهارپایان	138 روز	آلفا وگاما	پلوتونیوم 210

کاربرد در کشاورزی
مثالهائی از ردیابهای با سمیت شدید

مصارف معمولی	نیمه عمر	پرتوهای اصلی	ایزوتوپ
در تشکیل استخوان، سوخت وساز کلسیم در سیستم زیستی، مطالعات خاک	160 روز	بتا	کلسیم 40
جذب و سوخت وساز آهن	45 روز	بتا و گاما	آهن 59
حرکت ورسوب استرانسیوم در سیستمهای سوخت وسازی	54 روز	بتا و گاما	استرانسیوم 89
مطالعه خاک ، چراگاه، شیر ، مطالعات تیروئید در چهارپایان، اندازه گیری حجم خون	8 روز	بتا و گاما	ید 131

کاربرد در کشاورزی
مثالهائی از ردیابهای با سمیت متوسط (۱)

مصارف معمولی	نیمه عمر	پرتوهای اصلی	ایزوتوپ
در فیزیولوژی و غلظت سدیم در حیوانات، حرکت آبهای زیرزمینی و نشت یابی	15 ساعت	بتا و گاما	سدیم 24
سوخت وساز ، فسفر در کودها، آفت کشی، ،آزمیمها، اثر پرتودر گیاهان ونشاندار کردن حشرات	14.3 روز	بتا	فسفر 32
اثربیوشیمیائی گوگرد،آفت کشی ، کودها،اندازه گیری رشد مو و ناخن یا سم	87 روز	بتا	گوگرد 35
جذب وسوخت و ساز ، آفت کشهای کلر دار، تعادل یون کلر دار	310000 سال	بتا	کلر 36
جذب، حاصلخیزی خاک، توزیع پتاسیم و بیوشیمی	12.5 ساعت	بتا و گاما	پتاسیم 42

کاربرد در کشاورزی
مثالهائی از ردیابهای با سمیت متوسط (۲)

مصارف معمولی	نیمه عمر	پرتوهای اصلی	ایزوتوپ
مطالعات ردیابی در زنجیره غذائی، سوخت وساز منگنز	300 روز	گاما	منگنز 54
نشاندار کردن همگلوبین ، در مطالعات کمبود آهن در گردش خون	2.9 سال	ایکس	آهن 55
در نشاندار کردن ویتامین B12 و سوخت وساز	71 روز	بتا و گاما	کبالت 58
نشاندار کردن حشرات و ویتامین B12	5.2 سال	بتا و گاما	کبالت 60
مطالعات عناصر ردیاب و قارچ کش	12.8 ساعت	بتا ، بتای مثبت و گاما	مس 64
درجه سمیت قارچها و سوخت وساز روی	245 روز	بتای مثبت و گاما	روی 65

کاربرد در کشاورزی
مثالهائی از ردیابهای با سمیت متوسط (۳)

مصارف معمولی	نیمه عمر	پرتوهای اصلی	ایزوتوپ
بیماریهای ماهیچه ای در گوسفند، در سم شناسی	127 روز	ایکس وگاما	سلنیوم 75
ماده با درجه سمیت کم که جانشین استرنسیوم 90 میشود	65 روز	گاما	استرنسیوم 85
جذب ، حاصلخیزی خاک در مطالعات بیوفیزیولژی (مانند جانشین شدن پتاسیم)	18.6 روز	بتا و گاما	روبیدیوم 86
اندازه گیری حجم خون در حیوانات، اندازه گیری ید در شیر ، در تیروئید(جانشینی برای ید 131)	60 روز	ایکس و گاما	ید 125
تعیین وضعیت و مطالعه ریزشهای پرتوزا در خاک ، حبوبات و گوشت	30 سال	بتا و گاما	سزیوم 137

کاربرد در کشاورزی
مثالهائی از ردیابهای با سمیت سبک

مصارف معمولی	نیمه عمر	پرتوهای اصلی	ایزوتوپ
تعیین مسیرهای بیوشیمیائی ترکیبات محتوی هیدروژن، مطالعات آبهای زیر زمینی	12.3 سال	بتا	هیدروژه 3 (تریتیوم)
فتوسنتز و سوخت وساز تمام ترکیبات آلی	5600 سال	بتا	کربن 14
اندازه گیری حجم خون در حیوانات، مطالعه بر روی عناصر ردیاب	27 روز	ایکس و گاما	کروم 51

کاربرد در پزشکی

کاربرد پرتوها در پزشکی بسیار زیاد است از تشخیص (رادیوگرافی و..) گرفته تا درمان ، بعنوان مثال:

- تعیین محل واندازه اعضاء
- تعیین فعالیت اعضاء
- معالجه سرطان

از جمله کاربردهای پرتوهای یونساز در پزشکی هستند.

کاربرد در پزشکی
تشخیص با پرتو ایکس

- بر اساس کنتراست نور حاصل از قسمتهای کلسیم دار (مثل دندان و استخوان) با سایرقسمتهای بدون کلسیم می باشد.
- بافتهای نرم بعلت نداشتن مقدار زیادی کلسیم نمیتوانند به همان نسبت بافت سخت پرتو ایکس را جذب کنند.
- لذا پیدا نمودن اشیاء خارجی و یا شکستگی استخوان با این روش میسر میشود.
- اختلاف شت بدلیل اختلاف تراکم بافتهای مجاور (مثلا درون شکم) و یا وجود گاز در مسیر احشای درونی (مثلا ریه ها) نیز اتفاق می افتد
- با اضافه نمودن موادی پرکننده میتوان غلظت بافتها را بالا برده تا بعنوان جسم کدر عمل کنند) مثلاً:
  - استفاده از نمکهای باریم که بدن جذب از معده و روده عبور میکنند (مسیر معده و روده)
  - و یا ترکیبات ید دارتغلیظ شده که بوسیله کیسه صفرا وکلیه ها دفع میشوند (مسیر کیسه صفرا وکانالهای ادراری)
  - تزریق مایع مغزی – نخاعی

کاربرد در پزشکی

کاربرد رادیوایزوتوپها درتشخیص و درمان

- با کمک آشکارسازی و اندازه گیری توزیع مواد پرتوزا در بدن میتوان:
  - محل و اندازه اجزاء مورد نظر را تعیین نمود (مثلا اگر رادیونوکلوئید معینی به شخص خورانده شود، این ماده در بافت خاصی جایگزین شده و تابش مینماید که خود برای عکاسی (عکاسی غده) مورد استفاده قرار میگیرد)
  - فعالیت عملی این اندامها را تخمین زد (با اندازه گیری تراکم، نگهداری و تخلیه مواد رادیو اکتیو)

همچنین میتوان رادیو ایزوتوپهائی همچون 99Tc را با مواد حمل کننده خاصی ترکیب (کیتهای آن در بخشهای قبلی ارائه گردید) و برای تشخیص و یا درمان مورد استفاده قرار داد.

- برای مطالعه اضافی به این لینک و فایل میتوانید مراجعه کنید.

جنبه های بهداشتی پرتوها

جلسه نهم

اثرات بیولوژیکی پرتوهای غیر یونساز

- بدلیل وسیع بودن طیف و اثرات گوناگون این دسته از پرتوها ، اثرات این پرتوها را درسه دسته بشرح زیر بطور مجزا بررسی خواهیم کرد:
  - اثرات زیستی پرتوهای فرکانس رادیوئی
  - اثرات پرتوهای اپتیکی (UV, IR)
  - اثرات پرتو لیزر

اثرات پرتوهای فرکانس رادیوئی

- تغییرات امواج EEG و ECG باعث تغییرات شکل و شیمی حیاتی در جریان سطحی خون، اختلالات در وظایف غدد مترشحه داخلی، بی نظمی گوارشی و.. میشود.
- اثرات حرارتی این امواج براحتی قابل تشخیص است
  - آثار زیستی پرتوهای رادیوئی را میتوان به دو دسته زیر تقسیم کرد:
    - آثار حرارتی
    - آثار غیر حرارتی

اثرات حرارتی پرتوهای فرکانس رادیوئی

- بدن حیوانات و انسان قادر به جذب بین ۲۰ تا ۱۰۰ در صد انرژی تابشی امواج رادیوئی فرکانسهای بالای ۱۵ مگاهرتز بوده و میتواند آنرا به حرارت تبدیل کند.
- اگر حررات ایجاد شده آنقدر زیاد باشد که بصورت گرما در محیط تلف نشود موجب ازدیاد تدریجی دمای بدن میشود (فشار حرارتی)
- عوامل موثر:
  - طول مدت پرتوگیری
  - رطوبت نسبی و دمای محیط
  - نوع لباس
  - نوع بافت (لایه های کلفت چربی نفوذ پرتو رادیوئی را آسان کرده و از اتلاف حرارتی جلوگیری میکنند، انعکاس که موجب تراکم انرژی فرکانس رادیوئی میشود)
    - بافتهای حساس
      - بافتهای شفاف چشم (بویژه عدسی چشم)
      - بیضه ها
      - دستگاه عصبی مرکزی

اثر پرتوهای رادیوئی بر چشم (اثر حرارتی)

- انرژی الکترومانیتیک به مقدار کم موجب ازدیاد درجه حرارت عدسی چشم می شود (ظرفیت اتلاف حرارتی این بافت پائین است چون فاقد بافت خونی است).

ازدیاد درجه حرارت در مراحل تقسیم سلولی(میتوز) و تقسیمات بعدی آن در عدسی چشم اثر می گذارد . همه این تغییرات ممکن است موجب کدر شدن عدسی چشم یا ایجاد آب مروارید در چشم شود .

اثر پرتوهای رادیوئی روی بیضه ها:

تقسیم سلولی به میزان زیاد در بیضه ها و تقسیمات تدریجی آن در لوله های باریک منی ساز ایجاد می شود .

به هر حال ،سلولهای نطفه در اثر ازدیاد درجه حرارت آسیب

می بینند . بعلاوه سلولهای بین شبکه ای بافتها (سلولهای ترشح کننده هورمون) در اثر ازدیاد درجه حرارت ، ماده هورمونی کمتری در بیضه ها تولید می کنند و این کم کاری سلولها موجب اغتشاش ثانوی ، مربوط به عدم کفایت بافت مخاطی ،در ترشحی که روی غدد تناسلی اثرمی گذارد می شود و این عمل تحت تأثیر تابش اشعه رادیوئی صورت می گیرد.

علائم کم کاری مخاطی و تقسیم اعمال سیستم غدد مخاطی تناسلی در زنان و مردانی که تحت تأثیر تابش پرتوهای رادیوئی قرار گرفته اند دیده شده است .

اثر پرتوهای رادیوئی روی دستگاه عصبی مرکزی

دستگاه عصبی مرکزی ، ساختار ضخیم استخوان جمجمه و محتویات چربی بافت مغز نفوذ پرتو الکترومانیتیک را آسان نموده است.

همچنین عمل انعکاس و پخش پرتو رادیوئی ممکن است درون کاسه کروی شکل سر اتفاق افتد در نتیجه در مناطق خاصی از دستگاه عصبی مرکزی ، انرژی پرتو رادیوئی می تواند تا اندازه زیادی متراکم گردد که حتی از شدت قدرت تابش بیشتر باشد.

وضع شبکه ای تنه مغز و هیپوتالاموس ، منطقه ای که مراکز مهم نظم و فرمان در آن جایگزین شده است ، مناطق بسیار حساسی نسبت به امواج رادیوئی هستند ،که تبی خفیف و ازدیاد دما در این نواحی می تواند کارکرد بدن را بشدت مختل کند

اثرات غیرحرارتی پرتوهای فرکانس رادیوئی

A. اثرات میدانهای الکتریکی و مغناطیسی

- ذراتی که قطر آنها از ۱۵ میلی میکرون بیشتر است دارای بار الکتریکی میباشند.
- این ذرات غالبا بطور تصادفی در بدن توزیع شده اند
- در صورتی که تحت تاثیر میدانهای الکتریکی یا مغناطیسی قرار گیرند، این بارها در راستای خطوط میدان قرار خواهند داشت.
- قویترین شکل این گونه آرایش نوع رشته مرواریدی آنست.
  - برای یک انسان ۱۷۵ سانتی متری و ۷۰ کیلو گرمی، حداکثر جذب انرژی الکترومانیتیک در فرکانس ۷۰ مگاهرتز اتفاق می افتد (رزونانس)
  - مثلا در ۷۰ مگاهرتز ، مقدار جذب انرژی تقریبا ۷ برابر بیشتر از ۲۴۵۰ مگاهرتز است.

اثرات غیرحرارتی پرتوهای فرکانس رادیوئی

B. اثر عدم توازن:

- این پدیده مربوط به آثاری ازپرتو است که در اندامهائی که بنوعی فعالیت الکتریکی دارند بروز میکند (همچون قلب و دستگاه عصبی مرکزی)
- تحقیقات نشان داده که در انسان و حیوانات دامنه و قله فرکانسهای امواج EEG و ECG تحت تاثیر امواج رادیوئی تغییر میکند.
- بعبارتی با تحریک غشاء بیولوژیکی فعالیت الکتریکی غیر خطی بروز میکند.

اثرات غیرحرارتی پرتوهای فرکانس رادیوئی

C. اثرمولکولی

- انرژی امواج رادیوئی ممکن است موجب تحریک ارتعاش مولکولهای درشت شود.
- امواج رادیوئی به بعضی واکنشهای آنزیمی و شیمیائی کمک میکند (این اثر غالبا به فرکانسهای باند خیلی باریکی محدود میشود)
  - آزمایشات نشان میدهد:
    - میدانهای فرکانس بسیار پائین ۶ تا ۱۲ هرتز با شدت کم حدود ۰.۱ تا ۰.۵ ولت بر متر موجب نقصان ریزش و کم شدن کلسیم در مغز حیوانات میگردد.
    - امواج با فرکانس بین ۱۴.۷ تا ۴۵ مگاهرتزو شدت میدان بین ۰.۱ تا ۱ میلی وات بر سانتی متر مربع موجب افزایش ۰.۱۵ ریزش یا نقصان کلسیوم از پوشش جانبی مغز حیوان میگردد.

اثرات پرتوهای اپتیکی (UV, IR)

- همه افراد در معرفی اشعه UV ناشی از خورشید قرار دادند و تعداد روز افزونی از مردم در مواجهه با منابع مصنوعی مورد استفاده در صنعت، تجارت و تفریحات می باشد تشعشعات خورشید حاوی گرما و پرتو UV می باشد.
- اندامهای بحرانی
  - پوست
  - چشم
  - برای سوختن پوست معیار ۰.۰۳ J/cm2 پرتو UV برای پوست نسبتا تیره میتواند راهنمای خوبی باشد.
  - برای پوستهای نازک عدد فوق کمتر و برای پوستهای تیره تر این مقدار کمی بیشتر است
    - در یک روز روشن (اواسط تابستان) و در عرض جغرافیائی متوسط فلوی کلی ماوراء بنفش (کمتر از ۴۰۰نانومتر) در سطح زمین تقریبا برابر ۲۰۰۰ J/cm2بوده که از این مقدار ۰.۰۰۰۰۱ J/cm2 آن در سوختگی موثر است.
  - درمورد اثر برچشم میزان آستانه پرتوگیری در ۲۷۰ نانومتر تا ۵۰ J/m2 تشخیص داده شده است

آثارتخریـــــــــــــبیUVAو UVB

هر دو اشعه UVA و UVB **می‌توانند باعث آسیب پوستی از قبیل چروک، کاهش ایمنی در مقابل عفونت، اختلالات سالخوردگی پوستی و سرطان. با این حال هنوز این فرآیند به طور کامل درک نشده است. بعضی از مکانیســمهای ممکــن برای آســیب پوســتی** UV**، عبارتنداز :**

- شکستگی کلاژن
- تشکیل رادیکالهای آزاد
- مداخله در تعمیرات
- بازسازی DNA
- منع سیستم ایمنی.

عوامل محیطی مؤثر بر سطح UV

- ارتفاع خورشید
- عرض جغرافیایی
- پوشش ابری
- طول جغرافیایی
- ازن
- انعکاس زمین

تغییرات سلولی پوست ناشی از اشعه UV

نور خورشید اثر عمیقی بر پوست می‌گذارد (ایجاد پیری زودرس پوست، سرطان پوست و گروهی از تغییرات پوستی)

مواجهه با نور ماوراء بنفش UVA یا UVB از نور خورشید ٪ ۹۰ از نشانه های پیری زودرس پوستی به حساب می‌آیند.

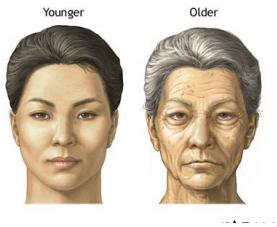
تغییرات مزمن پوستی شامل سرطان پوست که نوع ملانوما بیشترین تهدید را برای سلامتی دارد

آسیب UV به بافت فیبری را اغلب تحت عنوان «پیری نوری» توصیف می‌کنند.

پیری نوری باعث می‌شود که افراد پیرتر به نظر برسند چون که پوست آنها قوام خود را از دست داده و دچار گرفتگی و سائیدگی می‌گردد.

تغییر بافت در اثر خورشید

عدم مراقبت در مقابل اشعه UV سبب ضخیم و یا نازک شدن پوست می‌شود و پوستهای ضخیم چروکهای زبری پیدا می‌کنند خصوصا در پشت گردن که حتی با کشیدن پوست نیز ناپدید نمی‌شوند. این شرایط کشیدگی خورشیدی یا solar elastesis نامیده می‌شود که به حالت ضخیم و چروکهای زبر و تغییر رنگ زرد (رنگ پریدگی زرد) پوست دیده می‌شود. یک اثر رایج از بی حفاظتی در برابر UV نازک شدن پوست است که چروکهای نازک، سوختگی سطحی و سوزش پوست را سبب می‌شود.



تغییر رگهای خونی به دلیل تابش خورشید

اشعه UV باعث می‌شود که دیواره رگهای خونی نازک تر شود و منجر به کبودی پوست در ناحیه بی حفاظ در برابر آفتاب می‌شود.

برای مثال بیشتر کبودی‌هایی که بر روی پوست های آسیب دیده از آفتاب دیده می‌شوند، پشت دست ها و پشت بازو به وقوع می‌پیوندند.

تغییر رنگدانه ها به دلیل تابش نور خورشید

بیشترین موضوع قابل توجه درمورد تغییر رنگدانه ها به دلیل تابش خورشید، لکه ها و گندمگونی آفتابی (گندمی شدن در اثر آفتاب سوختگی) است. در افراد با پوست روشن تعداد لک دار شدن یا خال دار شدن بسیار قابل توجه است. لکه لکه شدن زمانی است که سلولهای سازنده ملانین پوست یا ملانوسیتها در اثر تابش خراب شده و بزرگتر می‌شوند لکه های بزرگ نیز به عنوان لکه های سنی یا لکه های کبدی شناخته شده اند که می‌تواند پشت دستها، روی قفسه سینه، سرشانه‌ها، بازوها و قسمت بالای کمر (پشت کتف) دیده می‌شوند اینها واقعا به سن وابسته نیست اما به تخریب توسط تابش آفتاب وابسته اند.

عدم مراقبت در برابر UV می‌تواند باعث لکه های سفید به خصوص بر پاها شود.

Picture of solar lentigo on the arm) ١

Picture of solar lentigo on the back) ٢

Picture of actinic keratoses – close up) ٣

Picture of actinic keratoses – scalp) ۴

Picture of actinic keratoses - arm) ۵

Picture of actinic keratoses - ear) ۶

چشم

مواجهۀ چشم با UV بستگی به عوامل زیادی دارد:

1. انعکاس سطح زمین.
2. درجه روشنائي در آسمان كه باعث فعالسازي رفلكس نگاه كردن با چشم نيمه باز مي‌گردد.
3. ميزان انعكاس اتمسفر.
4. استفاده از پوشش چشمي.

مشاهدۀ مستقیم خورشید و دیگر موارد بیش از حد نورانی نیز می‌تواند آسیب جدی به بخشهای بسیار حساس و رتینا به نام نقطه زرد، فووآ یا ماکولالوته آ وارد سازد. وقتی سلولهای فووآ تخریب می‌شوند افراد قادر به مشاهدۀ خوب جزئیات نخواهند بود

چشم

اثرات حاد UV بر چشم شامل توسعه فتوکراتیس (سوختگی قرنیه) و فتوکانجانکتیویتیس است که باعث آفتاب سوختگی بافت ظریف پوستی بر سطح کاسه چشمی (کورنا) و مژگان می‌شود. از درد آنها که معمولا قابل عود هستند می‌توان بوسیله پوشش چشمی جلوگیری گردد

Photokeratitis: A burn of the cornea) the clear front surface of the eye(by ultraviolet B rays (UVB). Also called radiation keratitis or snowblindness.
The condition typically occurs at high altitudes on highly reflective snow fields or, less often, with a solar eclipse. Artificial sources of UVB can also cause snowblindness. These sources include suntanning beds, a welder's arc (flash burn, welder's flash, or arc eye), carbon arcs, photographic flood lamps, lightning, electric sparks, and halogen desk lamps.
Symptoms include tearing, pain, redness, swollen eyelids, headache, a gritty feeling in the eyes, halos around lights, hazy vision, and temporary loss of vision. These symptoms may not appear until 6-12 hours after the UVB exposure

چشم

- Photokeratitis is an inflammation of the cornea, while photoconjunctivitis photoconjunctivitis refers to an inflammation of the conjunctiva, the membrane that lines the inside of the eyelids and eye socket. These inflammatory reactions may be compared to a sunburn of the very sensitive skin-like tissues of the eyeball and eyelids and usually appear within a few hours of exposure. Photokeratitis and photoconjunctivitis can be very painful, however, they are reversible and do not seem to result in any long-term damage to the eye or vision.
- An extreme form of photokeratitis is snow blindness. It sometimes occurs in skiers and climbers who experience extreme UV levels due to high altitude conditions and very strong ground reflection – fresh snow can reflect up to 80 per cent of incident UV radiation. These extreme UV levels kill the outer cells of the eyeball leading to blindness. Snow blindness is very painful when the dead cells are being shed. In the majority of cases new cells grow quickly and vision is restored within a few days. Very severe snow blindness may involve complications such as chronic irritations or tearing.

اثر جهش زای نور UV

در طی دهه گذشته مواجهه بیش از حد با نور UV خورشیدی خطر سرطان پوست را بر جمعیت انسانی بالا برده است. نور UV دارای اثری جهش زا بر پوست انسان می‌باشد

جهش زا به ماده ای فیزیکی یا شیمیائی گفته می‌شود که برای ایجاد جهش در DNA با آن به تکامل بر می‌خیزد ماده جهش زا باعث ایجاد تغییراتی وراثتی در مواد ژنتیک و ترکیبات آن می‌شود.

اشعۀ UV عامل جهش زای قوی است به علت اینکه بنیانهای پورین و پیریمیدین در DNA نور را بطور قدرتمندی در طیف UV

nm 260-254) جذب می کنند. در این رنج، اشعۀ (UVبا ایجاد تغییرات فتوشیمیائی درDNA.ایجاد جهش می‌نماید

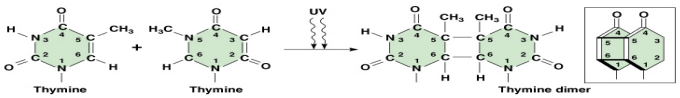
اثر جهش زای نور UV (ادامه)

مواجهه بیش تر با نور خورشید باعث ایجاد واکنش حاد آفتاب سوختگی می گردد که تحت نام اریتما در وضعیت کلینیکی تظاهر می کند مواجهه مزمن و طولانی مدت با خورشید منجر به پیری زودرس پوستی (سالخوردگی نوری) می گردد و باعث افزایش خطر هر دوی ملانومای جلدی و غیر جلدی می گردد.

۱-) ملانومای بدخیم شدیدترین و کشنده ترین سرطان پوست است که همه ساله قربانیان زیادی می گیرد وقوع مرگ و میر ناشی از ملانومای جلدی بدخیم به سرعت در سطح جهان در طی دهه اخیر زیاد شده است گزرودرماپیگمنتوسوم یک بیماری نادر ژنتیکی پوستی انسان می‌باشد که به وسیلهٔ مواجهه با اشعه UV ایجاد می گردد افراد دارای چنین نقص ژنتیکی در نهایت به علت خشکی، آتروفی، کراتوز و گسترش نهائی سرطان پوستی در اثر نور خورشید می‌میرند.

اثر جهش زاي نور UV (ادامه)

۲-) مواجهه نور UV بر DNA منجر به ارتباطات متقابل بنیانهای همجوار پیریمیدین T) (تیمین) یا C (سیتوزین)) برای تشکیل سیکلوبوتان و دیگر دایمرهای تولید شده در اثر نور می گردد. دو مؤلفه دایمر مذکور به طوری مرتبط شده اند که مارپیچ DNA در آن موقعیت از شکل اصلی خود خارج می گردد تشکیل دایمر باعث ایجاد گره ای غیر عادی در مارپیچ DNA می گردد که باعث ترمیم نادرستی از بنیانهای مرتبط در حین تکثیر می گردد که در مقابل، جهش ژنتیکی در DNA را سبب می‌شود.

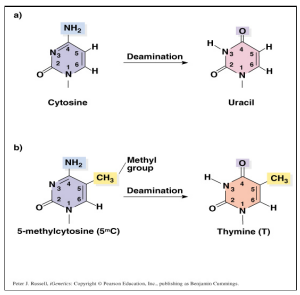


اثر جهش زاي نور UV (ادامه)

اغلب جهشهای ناشی از تشعشع UV، جایگزینی C به T است که باعث ایجاد سرطان می‌شود.

دایمرهای سیکلوبوتان پیریمیدین (CPDs) هم ناشی از نور القائی UV بر DNA می‌باشد.

CPDsها بعد از اینکه بنیان سیتوزین با دایمر داخلی اش به یوراسیل تغییر مکان داد جهش زا می‌شوند.



Deaminationخروج گروه های :
آمین از مولکول

سرطانهای پوست به وجود آمده در اثر آفتاب

توانائی خورشید به ایجاد سرطان یک پدیده شناخته شده است. سرطان پوست مهم عبارتند از:
Melanoma, basal cell carcinoma, squamous cell carcinoma.

ملانوما کشنده ترین سرطان پوست است، به دلیل اینکه بسیار سریعتر از دیگر سرطانهای پوست متاستاز می‌دهد عقیده بر این است که میزان بی حفاظتی پوست در برابر آفتاب قبل از ۲۰ سالگی تثبیت کننده فاکتورهای خطر برای ملانوم است.

Basal cell carcinomaرایج ترین سرطان پوست است که گسترش موضعی می‌یابد اما متاستاز نمی‌دهد.

Squamous cell carcinomaدومین سرطان رایج پوست است و **می‌تواند متاستاز دهد ولی متاستاز آن به اندازه ملانوم نمی‌باشد.**

خطر ابتلاbasal cell carcinoma**یا** Squamous cell carcinoma **توسط حفاظت فرد از پوست در برابر اشعهٔ** UV **.در طول زندگی تعیین می‌شود**

Picture of basal cell carcinoma) ۱

Picture of squamous cell carcinoma) ۳

Picture of melanoma) ۲

اثرات بیولوژیکی مادون قرمز بر سلول

آثار حرارتی و غیر حرارتی IR جذب شده بوسیله تئوری کوانتوم غیرخطی و بیولوژی مولکولی برپایه ساختارسلول و مولکول پروتئین مورد مطالعه قرار گرفته است.

IRجذب شده باعث ارتعاش کوانتومی در مولکول آب بیولوژیکی با باند هیدروژن .می شود

انرژی ارتعاش می تواند به انرژی گرمایی تبدیل شود و آب گرم ایجاد شده زنجیره هایی از اثرات بیولوژیکی سیستم را باعث خواهد شد.

ارتعاش کوانتومی درساختار پروتئین اثرات غیر بیولوژیکی را پدید می آورد.

به طور کلی چشم به همان اندازه ای که پوست توانایی دفاع از خود در مقابل مادون قرمز را دارد، در برابر آن حساس است . چشم مکانیسم های حفاظتی خاص خود را دارد که برای حالت های طبیعی محیط، زمانی که اشعه توسط نور مرئی منتشر می گردد، کفایت می کند.

این مکانیسم ها سبب چشمک زدن و واکنش مردمک چشم می شود که دریافت مقدارزیاد اشعه توسط چشم را محدود می کند. هرچند برخی از منابع صنعتی مادون قرمز بدون حضور نور مرئی این اشعه را منتشر می کنند که در آن صورت دیگر مکانیسم های عادی برای حفاظت از چشم کافی نخواهد بود.

یکی از ویژگی های مهم چشم قابلیت تطابق آن است که البته پوست فاقد این توانایی است. و در هنگام انتشار امواج مادون قرمز بخش اپتیکی به این منبع انتشار انرژی خیره و معطوف می گردد.

اثرات بر روی پلک چشم

وجود پلک چشم و واکنش هایی که در مواقع لزوم از خود بروز می دهد موجب حفاظت چشم از در معرض قرار گرفتن توسط تشعشات می گردد. و مایع زجاجیه را روی سطح چشم پخش می کند. این عمل دوگانه به خنک کردن این اندام توسط پوشاندن آن از اشعه کمک می کند ، اما پرتوگیری مکرر نسبت به دزهای حاصل از آفتابزدگی ، می تواند تورم مزمن پلک را افزایش دهد

هنوز تحقیقاتی در مورد درجه عبور IR از پلک چشم گزارش نشده است. از زمانیکه ساختارهای آناتومیک پلک چشم کم و بیش مشابه پوست بدن تشخیص داده شدند محاسبه عبور IR از آن قابل اندازه گیری شده است. این محاسبه می تواند به دلیل اقدامات محافظتی کارکنان در محیط های آلوده به IR مهم

اثرات برروی قرنیه

در معرض قرار گرفتن بوسیله مقدار زیاد اشعه IR می تواند سبب درد قرنیه شود. بنابراین چشم ها به طور خود به خود بسته می شوند و سر عقب کشیده می شود. Sliney حساسیت انتهای عصب قرنیه را نسبت به افزایش کم مقدار حرارت بسیار بالا می داند و اعتقاد دارد که در دمای ٤٥ درجه سانتیگراد بروز درد بسیار محتمل است.

علاوه بر این او پیشنهاد می کند قبل از هرگونه تحریک دردناکی، این مقدار انرژی حرارتی است که قرنیه را می آزارد.

اثرات برروی مایع چشم

این مایع بین قرنیه و عنبیه و عدسی چشم قرار دارد و اشعه مادون قرمز را جذب می کند. بدین ترتیب دمای آن افزایش می یابد. این افزایش دما می تواند به افزایش حرارت ترکیبات موجود در بافت چشم منتهی شود، که بیشتر در عدسی رخ می دهد.

اثرات برروی عنبیه

اثر مادون قرمز بر عنبیه توسط Duke – Elder خلاصه شده است. از نظر وی عنبیه نسبت به مادون قرمز بسیارحساس و آسیب پذیر است چرا که جذب شدید این اشعه توسط رنگدانه های موجود در عنبیه صورت می پذیرد. دزهای متوسط سبب منقبض شدن مردمک (هیپرمیا میوزیس) و جمع شدن مایع چشم می شود.

اثرات برروی عدسی

آسیب های حرارتی مادون قرمز به عدسی چشم تقریباً در محدوده طول موج های ۳۰۰۰- ۸۰۰ نانومتر تعریف می شود.

عدسی چشم انسان با نزدیک شدن به سن بزرگسالی از لحاظ اپتیکی به نظم خاصی می رسد. عدسی یک بافت منحصر به فرد در بدن است که بدون رگ های خونی تغذیه کننده است. علاوه بر آن بافت عدسی یک بافت در حال رشد و با متابولیسم فعال است. مطمئنا نتیجه تخریب این فعالیت های فعال متابولیکی شفافیت دید را به طرز محسوسی با افزایش سن کاهش میدهد. به جز سن عواملی چون اختلالات متابولیکی ، جرقه زدن، زخمهای ضخیم، و انواع مختلف تشعشات الکترومغناطیسی می توانند باعث اثر بر عدسی گردند.

اثرات برروی عدسی (ادامه)

هر لکه سفیدی در کره چشم و شبکیه نباید به عنوان آب مروارید تلقی گردد. آب مروارید هایی که در قدرت دید دخالت می کنند باید به روش جراحی مورد معالجه قرار بگیرند که عموما در سن بالای ٦٥ سال و به میزان ٥ نفراز ۱۰۰۰ نفر بالای ٦٥ سال در یکسال دیده می شود.

در بین آزمایشات انجام شده بر روی حیوانات و آنالیزهای تئوریکی ۲ تئوری که برای بررسی آنچه به عنوان آب مروارید حاصل از مادون قرمز شناخته می شود مطرح شدند پیشرفت نمودند. این تئوری ها حاکی از این بودند که تشکیل آب مروارید به جذب مستقیم اشعه توسط عدسی مربوط است، یا به طور ثانویه به گرم شدن ماده لزج داخل چشم و عنبیه به دلیل جذب برمی گردد.

خطرات پوستی

برای درک بهتر اثرات اشعه مادون قرمز برروی پوست لازم است که اطلاعاتی در زمینه مسائل اپتیکی و حرارتی پوست که به خصوصیات آن برمی گردد داشته باشیم. به دلیل مقدار زیاد آب موجود در آن که حدود ٦٠ تا ٧٠ در صد است ، پوست می تواند خصوصیات جذب اشعه ای، مانند آب را نیز در خود داشته باشد.

نخستین علائم مستقیم و مشخص تابش طول موج های کوتاه مادون قرمز (زیر ۱.۵ میلی میکرون) بر روی پوست ، عبارتند از سوختن زودرس پوست ، گسترش اعصاب منبسط کننده ماهیچه مویرگها و افزایش ماده رنگی در زیر بشره که می توان مزمن باشد

اثرات پرتو لیزر

- مکانیسم صدمه رسانی لیزر در نتیجه سه پدیده زیر است:
  1. پدیده حرارتی
  2. پدیده ترموفوتوشیمیائی
  3. پدیده ترمواکوستیک
- مکانیسمهای فوق بستگی به:
  i. نوع لیزر
  ii. زمان تداوم پالس
  iii. نوع طول موج
  iv. نوع شکل لیزر (پالسی، پیوسته)

اثرات پرتو لیزر
پدیده حرارتی

- اندامهای بحرانی
  - چشم (از اهیمت بیشتری برخوردار است)
  - پوست
- پرتوگیری لیزر در نسج ایجاد حرارت میکند
- اگر نسج پرتوگرفته قابلیت دفع حرارت را به اندازه کافی نداشته باشد حرارت جمع شده و بتدریج باعث تخریب آن نسج میگردد.
- در برخی موارد افزایش حرارت در نسج باعث تبخیر آب موجود در نسج خواهد گردید.
  - صدمه ناشی از لیزر بیشتر درشبکیه اتفاق میافتد(چون جذب پرتو در شبکیه در ناحیه مرئی زیاد است)
  - علاوه بر شبکیه ، قرنیه و عدسی هم تحت تاثیر قرار میگیرند.
  - اگر بدون وسیله حفاظتی به لیزر نگاه شود، سوختگی در شبکیه هم ممکن است اتفاق بیافتد
  - در برخی موارد سوختگی در لکه زرد (ینائی را مختل نموده و بسختی ترمیم می یابد)
  - ورم چشم
  - میزان صدمه به پوست در افرادیکه پوست تیره تردارند بیشتر است (هرچه پیگمانتاسیون پوست بیشتر باشد جذب انرژی بیشتر بوده ودر نتیجه، به ازاء پرتوگیری کمتر جذب بیشتر اتفاق می افتد)

اثرات پرتو لیزر
پدیده فوتوشیمیائی

- در اثر جذب پرتو لیزر فعل و انفعالات ناخواسته ای در نسج اتفاق میافتد
- فعل وانفعالات ناخواسته میل ترکیبی مولکولهای نسج با سایر مولکولها را افزایش میدهد
- امکان دارد نتیجه فعل وانفعالات فوتو شیمیائی یک مولکول ناخواسته باشد.
- مولکولهای ناخواسته میتوانند خساراتی را بربافت و موجود زنده وارد نمایند.

اثرات پرتو لیزر
پدیده ترمو آکوستیک

- این پدیده معمولا به لیزرهائی نسبت داده میشود که پالسهای تابش شده در حدود نانوثانیه دارند.
- جذب انرژی این نوع لیزرها ایجاد امواج فشارمکانیکی در نسج کرده که خود باعث حرارت نیز میشود.
- این حرارت با سایر موارد متفاوت خواهد بود
- اطلاعات بیشتر را میتوانید از این لینک استفاده نمائید.

جنبه های بهداشتی پرتوها

جلسه دهم

اثرات بیولوژیکی پرتوهای یونساز

- نخستین شناخت از اثرات سوء پرتوها چند ماه پس از کشف پرتو ایکس توسط رونتگن گزارش شده و بعد از آن در سال ۱۹۹۲ اولین مورد سرطانزائی پرتو ایکس در یکی از مجلات علمی بچاپ رسید.
- در مورد اثرات زیانبار پرتوها بر موجودات زنده دو نوع تفکر شایع است:
- تفکر اول: خطر و عوارض این پرتوها را بسیار کمتر از واقعی در نظر میگیرند (تفکر تفریطی)
- تفکر دوم: خطر و عوارض پرتوها را بسیار بیشتر از آنچه که هست در نظر میگیرند (تفکر افراطی که بیشتر رواج دارد)
- خوشبختانه امروزه خطرات پرتوهای یونساز تا حد زیادی شناخته شده است.
- سلولهای تشکیل دهنده اندامهای مختلف بدن موجود زنده از نظر میزان حساسیت نسبت به پرتوهای یونساز با یکدیگر تفاوت دارند.
- تفاوت حساسیت اعضاء مختلف بدن انسان توسط برگونیه (Bergonie) و تریبوند (Tribondeau) تعیین شد و بصورت قانونی بنام این دو بیان می شود.

تئوری حساسیت سلولی

1. حساسیت سلولی با قدرت تولیدی و تکثیر آن نسبت مستقیم دارد. یعنی هر چه سلول بیشتر تقسیم شود آسیب پذیرتر است.
2. هر چه میزان سوخت و ساز (متابولیسم) سلول بیشتر باشد مقاومت کمتری در برابر پرتوهای یونساز نشان میدهد.
3. هر چه فعالیت تقسیم سلول زیاد تر و مدت تقسیم آن طولانی تر باشد، سلول حساستر است (سلول بیشتر و بمدت طولانی تری قابلیت تقسیم خود را حفظ کند)
   - بافتهائی که همواره از نظر تقسیم سلولی فعالند میتوان: بافتهای خون و لنف ساز، پوشش دستگاه گوارش، دستگاه تولید مثل و..
   - در بین پستانداران انسان جزء حساسترین موجودات در مقابل جذب پرتوهای یونساز می باشد.

بافتهای حساس و مقاوم

- بافتهای حساس به پرتو:
  - مغز استخوان، سلولهای جنسی، بافتهای لنفاوی، مخاط دستگاه گوارش و گلو، اپی درم پوست و فولیکولها
- بافتهای مقاوم به پرتو:
  - استخوانها و بافتهای استخوانی، عضلات و بافتهای عضلانی و بافت عصبی

تقسیم بندی اثرات بیولوژیک

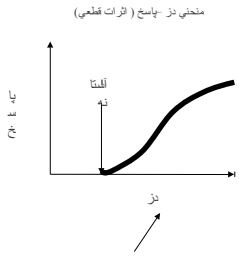
1. اثرات قطعی ((non stochastic

هنگامی که پرتوگیری از یک حد آستانه بیشتر باشد (مثلا التهاب پوست، تغییرات خونی، آب مرواریدو..)

ویژگیهای این اثرات:

الف: قبل از آنکه یک علامت مشخص ظاهر شود باید مقدار دز از یک دزآستانه معین تجاوز کند

ب: هر چه مقدار دز بیشتر باشد اثر آن بیشتر و نمایان تر است.



همانطور که از شکل دیده میشود در مقادیر کمتر از آستانه هیچگونه اثري دیده نمیشود.

تقسیم بندی اثرات بیولوژیک

2. اثرات احتمالی یا آماری (stochastic)

این اثرات برای بروزشان معمولا آستانه دز وجود ندارد (سرطانها، اثرات ژنتیکی و..)

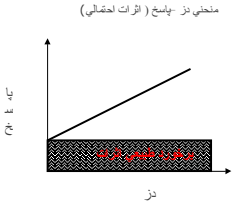
این اثرات بطور تصادفی پدیدار می شوند و حتی ممکن است در افرادی که در معرض تابش پرتو قرار نگرفته اند مشاهده شود.

ویژگیهای این اثرات:

الف:آستانه دزبرای بروز این اثرات وجود ندارد.

ب: احتمال بروز این اثرات با افزایش دز زیاد می گردد.

ج: تندی دز ارتباطی به بروز اثرات احتمالی ندارد.



همانگونه که مشاهده مي شود رابطه خطي بين دز دريافتي و پاسخ وجود دارد و با مقاديربسيار كم نيز احتمال اثرات وجود دارد.

اثرات پرتو بر سلول

1. اثرات مستقیم پرتو بر سلول

این اثرات عبارتند از:

- ایجاد وقفه در تقسیم سلول
- موتاسیون ژنی
- شکست کروموزومی یا تغییر ترکیب و ساختمان کروموزومهای آسیب دیده که منجر به تولید سلولهای دختر غیر طبیعی بعد از میتوز می گردد.
- مرگ سلولی که علت آن در اثر از دست دادن اعمال اختصاصی و بهم خوردن نسبت ترکیبات داخلی آن و همچنین نداشتن ظرفیت برای مواد تولیدی جدید می باشد.

اثرات پرتو بر سلول

2. اثرات غیرمستقیم پرتو بر سلول :

اثر رادیو شیمیائی یک اثر غیر مستقیم پرتو بر سلول است که موجب تغییرات در اجزاء شیمیائی سلول میشود.

مولکولهای یونیزه شده با عناصر شیمیائی که قبلا یونیزه شده وارد عمل می شوند.

بیشترین وزن و حجم سلول را آب تشکیل میدهد و میتوان براحتی واکنشهای روبرو را دید:

یونهای H و OH تاثیر چندانی ندارند

ولی رادیکالهای آزاد آنها ممکن است با رادیکالهای مشابه ترکیب و تولید آب اکسیژنه که برای سلول سمی و کشنده است بنمایند.

$$H_2O \rightarrow H_2O^+ + e^-$$
$$H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH$$
$$H_2O + e^- \rightarrow H_2O^-$$
$$H_2O^- \rightarrow H + OH^-$$

اثرات زود رس پرتو بر انسان

1. اثرات پوستی

- سرخی ملایم (Mild Erytema) :
  - یک سرخی ملایم در محل آسیب دیده (همچون سوختگی آفتاب)
  - معمولا بعد از دریافت انرژی در حدود ۴ گری ایجاد میشود
  - در مدت ۷ روز بر طرف میشود
  - علت سرخی ، انبساط رگهای خونی محل پرتو دیده است
- تاول مرطوب (Wet Dermatities) :
  - حالت التهاب و سرخی شدید (تاول و وزیکول)
  - شبیه به سوختگی درجه دو پوست
  - معمولا بعد از دریافت ۵ گری ایجاد میشود.
  - ترمیم کند است حدود ۶ هفته طول می کشد

اثرات زود رس پرتو بر انسان
اثرات پوستی (ادامه)

- مرگ سلولی (Necrosis) :
  - حالت خیلی شدید و دردناک از آزردگی پوست می باشد.
  - با دزی حدود ۱۵ گری یا بیشتربوجود می آید.
  - شبیه سوختگی درجه ۳ پوست
  - ترمیم بسیار مشکل و طولانی است و ممکن است تا چند سال طول بکشد.

اثرات زود رس پرتو بر انسان

2. اثرات روی عناصر خونی:

- عناصر مختلف موجود در خون مانند گلبولهای سفید و پلاکها بر حسب دز جذب شده عکس العملهای متفاوتی در مقابل پرتو دارند.
- کاهش گلبول سفید میتواند زمینه را جهت ابتلا به عفونت مساعد کند.
- کاهش گلبولهای سفید از دزهای حدود ۰.۲۵ گری به بالا شروع میشود.
- مقاومت گلبولهای قرمز خون نسبت به پرتو بیشتر از گلبولهای سفید است (چون طول عمر آنها از گلبولهای سفید بیشتر و تغییر آنها در خون کند تر است).
- لذا آنمی (کاهش گلبول قرمز) ناشی از پرتوگیری ملایم تر از لوکوپنی (کم شدن گلبولهای سفید) حاصل از پرتوگیری می باشد.
- کم شدن پلاکتهای خون در دزهای بالاتر از ۰.۵ گری ممکن است اتفاق بیافتد و حالت خونریزی پیش بیاورد.
- در دز ۲ گری کاهش فعالیت مغز استخوان و در دز ۴ گری قطع کامل آن گزارش شده است .

اثرات زود رس پرتو بر انسان

3. اثرات روی سلولهای جنسی:

- بیضه ها:
  - تمام مراحل تکاملی سلولهای جنسی مردانه در انسان از ابتدا (اسپرماتوگونی) تا انتها (اسپرماتوزوئید) را اسپرماتوژنز می گویند که شامل مراحل زیر است :
  - اسپرماتوگونی (با ۴۶ کروموزوم) به اسپر ماتوسیت اولیه.
  - با تقسیم میوزی به دو اسپرماتوسیت ثانویه (۲۳ کروموزوم) .
  - تبدیل به اسپرماتوزوئید (گامت جنسی مردانه) در طی ۷۴±۵ روز.
    - برخورد پرتو به سلولهای جنسی باعث کاهش تعداد آنها و احتمالا عقیمی می شود.

اثرات زود رس پرتو بر انسان
اثرات روی سلولهای جنسی (ادامه)

- تخمدانها:
  - مراحل رسیدگی ، تکامل سلولهای جنسی زنانه را اووژنز می گویند که از اووگونی شروع و به اوول (گامت جنسی زنانه ختم می شود).
  - تخمدانها نسبت به بیضه ها در برابر پرتوها خیلی حساسترند چون سلولهای تناسلی زنانه در بدو تولد در تخمدانها موجود است. ودر اثر پرتوگیری احتمال دارد همگی از بین برود.
  - دز بین ۳ تا ۶ گری تخمدانها میتوان عقیمی موقت تا دائم را نسبت به سن در خانمها ایجاد کند.

اثرات زود رس پرتو بر انسان

4. اثرات روی جنین

- دوره فوق العاده حساس (دوره قبل از جایگزینی ، یک هفته اول): در این مرحله تخمک در دیوازه رحم است و در صورت دریافت دز بالا (۰.۴ تا ۱.۵ گری) سقط جنین و مرگ جنین اتفاق خواهد افتاد
- دوره حساس (دوره اندام زائی، تا سه ماهگی): در صورت پرتوگیری بالا (حدود ۲ گری به بالا) ناهنجاریهائی همچون کوچکی جمجمه، عقب ماندگی مغزی و فکری، نارسائی های بینائی، کوتاهی قد، آسیبهای اسکلتی، ناموزونی دندانها، آسیبهای کلیوی و سقط جنین بدنبال خواهد داشت.
- دوره اصلی جنینی (از سه ماهگی به بعد) : در این مرحله جنین نسبتا مقاوم است ولی در عین حال در صورت پرتوگیری بالا می تواند عوارضی همچون میکروسفالی، کوتاهی، عقیم شدن و افزایش احتمال لوسمی و سرطانها را بدنبال داشته باشد.

اثرات پرتوگیری تمام بدن

- در صورتی که تمام بدن پرتوگیری کند اثرات آن در بافتها ی متفاوت، یکسان نخواهد بود.
- در برخورد پرتو به تمام بدن با دز کمتر از ۰.۲۵ گری ممکن است اثرات کلینیکی مشاهده نشود، فقط با انجام تستهای اختصاصی (بررسی های کروموزومی) قابل تشخیص است.
- از حدود دز ۱ گری به بالا علائم کلینیکی دیده میشود.

علائم پرتوگیری در دزهای مختلف

نوع علامت	محدوده دز (گری)
بی اشتهائی	0.6-1.3
تهوع	1.7 – 1.2
استفراغ	2.7 -1.7
اسهال	3- 2.4

اثرات پرتوگیری تمام بدن

- پس از پرتوگیری ۴ گری
  - پس از چند ساعت: سردرد، استفراغ ، اسهال و تب.
  - پس از چند روز: جوشهای کوچک در دهان و گلو و کم شدن تدریجی وزن.
  - در طول دومین هفته: هبود نسبی ولی کاهش وزن همچنان ادامه دارد.
  - در طول سومین هفته: بروز علائم قبلی با شدت بیشتر همراه با عقیمی.
  - در طول چهارمین هفته: به احتمال قوی خواهد مرد.
- احتمال مرگ و میر در برخورد اشعه با دز ۵ گری حدود ۵۰٪ است (LD-50=5 Gy)

اثرات تاخیری

1. اثرات سوماتیکی: همچون سرطان، آب مروارید و کوتاه شدن عمر
2. اثرات ژنتیکی

- سرطانزائی: پرتوهای یونساز با تأثیر روی زنجیره DNA می توانند تغییرات در زنجیره های متفاوت آن ایجاد نموده و احتمالاً باعث جهش زائی یا موتاسیون شوند.
- پرتوهای یونساز قادر به القاء سرطان میباشند.

اثرات تاخیری سوماتیکی

- مرواریدآب :
- عدسی چشم در برابر تابش بسیار حساس است و در برابر تابش پرتوهای یونساز نیز دچار آب مروارید میشود.
- یک دز ۱ تا۳ گری میتواند در موشها آب مروارید ایجاد کند.
- برای انسان حدود ۱۰ گری پرتوگیری مورد نیاز است.
- اگر دز دریافتی بصورت مرحله ای باشد، دز بیشتری لازم است.
- تابشهای با LET بالا رخداد آب مروارید را دو برابر می کند.
- یک دوره کمون یک ساله لازمه است.
- چشم به نوترون بیشتر از سایر پرتوها حساس است.

اثرات تاخیری
اثرات ژنتیکی

- عوامل شیمیائی و فیزیکی مختلف (همچون پرتوها) میتوانند ترتیب بازها را در مولکول DNA بر هم زده و در محتوای اطلاعاتی سلولهای بدن بی نظمی ایجاد کند.
- در نتیجه ممکن است در سلولهای زایشی نوعی ناهنجاری پدید آید.
- ناهنجاریهای یاد شده می تواند بصورت شکست تک زنجیره و یا شکست دو زنجیره در ساختمان DNA ظاهر شود.
- تغییرات و ناهنجاریهای ذکر شده که میتواند در نسل آینده بروز کند به اثرات ژنتیکی موسوم است.
- این اثرات اهمیت بسیار زیادی دارند چون:
  - اثرات در نسلی بروز می کند که خود پرتو دریافت نکرده است.
  - ردیابی اثرات بسیار مشکل است.

جنبه های بهداشتی پرتوها

جلسه یازدهم

روشهای کنترل پرتوها و کاهش اثرات سوء آنها

- هدف از حفاظت در برابر پرتوهای یونساز
  - جلوگیری از بروز صدمات قطعی
  - به حداقل رساندن صدمات احتمالی
- ICRPسیستم محدود کردن پرتوگیری را به سه اصل استوار کرده است (ماده ۱۴۱:(قانون حفاظت در برابر اشعه نیز به این امر اشاره دارد
  1. نفع آن محرز و مسلم باشد.
  2. در هرمورد دزمجاز بر اساس حداقل میزان منطقی قابل دسترس (as low as reasonably achievable (ALARA)) باشد
  3. دزمعادل برای هر فرد از حدود توصیه شده تجاوز نکند

حدود مجاز

- **MPD** حداکثر دزتوصیه شده :(Maximum Permissible Dose)
  - مقدار پرتو دریافتی که اگر بدن شخص بطور مداوم و یا در مدت معینی آنرا جذب کند هیچگونه صدمه و اثری در دستگاههای بحرانی بدن او دیده نشود.
- **MPC** حداکثر غلظت توصیه شده : (Maximum permissible Concentration)
  - حداکثر مقدار ماده پرتوزا که میتواند در بافت و یا بافتهائی از بدن ذخیره شده بگونه ای که هیچگونه صدمه ای به سیستمهای بحرانی شخص وارد نشود.
- **ALI** حد سالانه ورود مواد پرتوزا به بدن : (Annual limit on intake)
  - میزان ورود رادیو نوکلوئید مشخص به بدن شخص استاندارد از راههای تنفس، بلع و پوست در طول سال که منجر به دز اجباری برابر با حد دز مربوطه گردد.

معیارهای اصلی ایمنی تابش

کمیسیون ICRPبمنظور تعیین استانداردهای ایمنی تابش سه نوع پرتوگیری را مشخص کرده:

1. پرتوگیری شخصی اشخاص بالغ هنگام کار با پرتویونساز
   a. زنان باردار
   b. سایر کارگران تابش
2. پرتوگیری عامه مردم
   a. تک تک افراد جامعه
   b. گروههای جمعی
3. پرتوگیری پزشکی:
   - این دسته شامل بیماران و اشخاصی می شود که به خاطر مسائل تشخیصی و درمانی ناچار از پرتوگیری هستند. کسانی که ضمن پرتوگیری بیماران خود بطور اتفاقی پرتو می گیرند جزء این دسته به حساب نمی آیند.

مقررات فعالیت پرتوی حد دز

- ماده ۱۴۳: در هر محل کار میانگین سالانه غلظت گاز رادن بیشتر از ۱۰۰۰ بکرل در متر مکعب هوا باشد، حد دز پرتوگیری شغلی باید اعمال گردد.
- ماده ۱۴۴: حدهای دز برای کنترل پرتوگیری بالقوه به کار نمی روند.
- ماده ۱۴۵: حدهای دز برای برنامه ریزی و نحوه اجرای مداخله بکار نمیروند. ولی در مورد پرتوگیری کارکنانی که در عملیات مداخله شرکت دارند، باید از مقررات پرتوگیری اورژانس تبعیت گردد.

مقررات فعالیت پرتوی حد دز(ادامه)

- ماده ۱۴۶: پرتوگیر شغلی کارکنان باید به نحوی کنترل شود که از حدهای زیر تجاوز نکند:
  a. میانگین دز موثر سالانه ۲۰ میلی سیورت برای ۵ سال متوالی
  b. دز موثر ۵۰ میلی سیورت در یک سال
  c. دز معادل برای عدسیهای چشم ۱۵۰ میلی سیورت در سال
  d. دز معادل برای دستها و پاها یا برای پوست معادل ۵۰۰ میلی سیورت در سال (حد دزمعادل پوست ، میانگین دز در ۱ سانتی متر مربع از پوست است که بیشترین پرتوگیری را دارد)

مقررات فعالیت پرتوی
حد دز(ادامه)

- ماده ۱۴۷: برای جوانان بین ۱۶ تا ۱۸ سال که در ارتباط با اهداف کار آموزی در معرض پرتوها قراردارند و یا دانش آموزان بین ۱۶ تا ۱۸ سال که در دوره تحصیلی با منابع سروکار دارند، پرتوگیری شغلی باید به نحوی کنترل گردد که از حدهای زیر تجاوز نکند:
  - دز موثر ۶ ملی سیورت در سال
  - دزمعادل برای عدسی چشم، ۵۰ میلی سیورت در سال
  - دزمعادل برای دستها و پاها یا برای پوست، ۱۵۰ میلی سیورت در سال
  - ماده ۱۴۸: در شرایط خاص ممکن است تغییرات موقت در مقادیر حد دز توسط واحد قانونی تایید گردد، مشروط بر اینکه میانگین دزموثر کارکنان در ۱۰ سال متوالی از ۲۰ میلی سیورت در سال و دز موثر از ۵۰ میلی سیورت در سال تجاوز نکند.

مقررات فعالیت پرتوی
حد دز(ادامه)

- ماده ۱۴۹: دز میانگین برآورد شده برای گروههای بحرانی در ارتباط با فعالیت پرتوئی نباید ازحدهای زیر تجاوز کند:
  a. دز موثر ۱ میلی سیورت در سال
  b. در شرایط خاص، دز موثر سالانه میتواند تا ۵ میلی سیورت افزایش یابد مشروط بر اینکه میانگین دز در ۵ سال متوالی از ۱۰ میلی سیورت در سال تجاوز نکند
  c. دز معادل برای عدسی چشمها ۱۵ میلی سیورت در سال
  d. دز معادل برای پوست ۵۰ میلی سیورت درسال
- گروه بحرانی (CRITICAL GROUP) :گروهی از افراد جامعه که پرتوگیری مشخص به طور منطقی همگن باشد. این گروه شاخصی از افرادی است که بیشترین دز موثر یا دز معادل را از طریق مسیر پرتوگیری مشخص و از منبع معینی دریافت میکنند.

مقررات فعالیت پرتوی
حد دز(ادامه)

- ماده ۱۵۰: حد دز برای مراقبین بیمار، یعنی افرادی که غیر از وظیفه شغلی یا حرفه ای خود علیرغم آگاهی از پرتوگیری، داوطلبانه از بیماران پرتودرمانی یا پرتو تشخیصی مراقبت و نگهداری نموده یا آسایش آنها را تامین و یا با آنها ملاقات می کنند، بکار نمی رود. اما دز این افراد باید طوری محدود شده باشد که در طول مدت درمان یا تشخیص بیماری از ۵ میلی سیورت تجاوز نکند. دز کودکان ملاقات کننده بیمارانی که مواد پرتوزا به آنها داده شده باید طوری محدود شود که از ۱ میلی سیورت تجاوز نکند.

جدول راهنما برای تماس با پرتوهای یونساز

دز موثر	شرایط	نوع تماس
50 میلی سیورت	در هر سال	
20 میلی سیورت در سال	میانگین در 5 سال	دز موثر
150 میلی سیورت	عدسی چشم	
500 میلی سیورت	پوست	دز معادل سالیانه
500 میلی سیورت	دستها و پاها	
0.5 میلی سیورت	دز معادل ماهیانه	
2 میلی سیورت برای دوره بارداری	دز سطح زیر شکم	خانم باردار
20/1 مقدار ALI	دریافت رادیو نوکلوئید	

کنترل پرتوگیری خارجی

چهار اصل اساسی در خصوص کنترل پرتوگیری خارجی پذیرفته شده است

- حداقل کردن زمان تماس
- حداکثر نمودن فاصله از چشمه
- حفاظ چشمه پرتو
- کنترل و بازرسی

معمولا در خصوص کنترل پرتوگیری خارجی از کلیه روشهای فوق بطور همزمان استفاده میشود.

زمان

- همانطور که میدانیم میزان دز کلی دریافتی توسط شخص برابر حاصلضرب آهنگ دز در زمان پرتوگیری مباشد.
- در مناطقی که میزان دز بالاست و نمی توان از آن اجتناب نمود از این فاکتور استفاده نموده و دز کل را بحد ایمن می رسانیم.
- هرچه آهنگ دز بالاتر باشد زمان تماس را کوتاهتر انتخاب میکنیم.
- مثلا برای یک کارگر رادیوگرافی که باید ۵ روز در هفته کار کند و محیط کاری آهنگ دزی معادل ۰.۲۵ میلی سیورت بر ساعت دارد میزان اضافی میبایست توسط کاهش زمان به ۴۸ دقیقه در روز حذف گردد، در این شرایط است که دز روزانه شخص ۰.۲ میلی سیورت خواهد بود
  - (توضیح: روزهای کاری شخص در سال ۲۵۰ روز خواهد بود با توجه به دز موثر مجاز ۵۰ میلی سیورت در سال میزان دز مجاز روزانه ۰.۲ میلی سیورت خواهد شد.)
- اگر نوع کار حجم تماس بیشتری را میطلبد باید یک کارگر رادیوگراف دیگر بجای این شخص به فعالیت بپردازد که برای هر فرد میزان دز جمع دریافتی از حد ایمن بالاتر نرود.

فاصله

- واضح است که با افزایش فاصله از منبع میتوان میزان تماس را کاهش داد.
- اساسا سه نوع منبع پرتوزا داریم:
- منبع نقطه ای
- منبع خطی
- منبع سطحی

فاصله
منبع نقطه ای

- در این منبع ارتباط بین آهنگ دز و فاصله عکس مجذور فاصله است یعنی:

آهنگ دز در فاصله اولیه

فاصله ثانویه از منبع

$$\frac{dR_1}{dR_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

آهنگ دز در فاصله ثانویه

فاصله اولیه از منبع

فاصله
منبع نقطه ای (نحوه محاسبه آهنگ دز برای یک چشمه گاما)

اکتیویته

قدرت چشمه

$$dR = \frac{\Gamma\left(\frac{C/kg.m^2}{MBq.hr}\right) or \left(\frac{R.m^2}{Ci.hr}\right) \times A(MBq) or (Ci)}{d^2(m)}$$

آهنگ دز

فاصله

قدرت چشمه: آهنگ پرتودهي تابش گاماي يك چشمه نقطه اي با فعاليت واحد و در فاصله واحد را گسيل ويژه پرتو گاما و يا قدرت چشمه مي گويند.

فاصله
منبع نقطه ای (نحوه محاسبه قدرت چشمه گاما)

- قدرت چشمه از دو طریق قابل محاسبه است:
- جدول : که در اسلاید بعدی برای چشمه های مختلف بر اساس هردو واحد ارائه گردیده است.
- فرمول: که بصورت زیر قابل محاسبه است.

تعداد فوتون با انرژي معين

انرژي فوتون (ميليون الكترون ولت)

$$\Gamma = 3.65\times10^{-9}\sum_{i=1}^{n} f_i E_i \left(\frac{C/Kg.m^2}{MBq.hr}\right)$$

$$\Gamma = 0.5\sum_{i=1}^{n} f_i E_i \left(\frac{R.m^2}{Ci.hr}\right)$$

فاصله
منبع نقطه ای (نحوه محاسبه قدرت چشمه گاما)
راه جدول

Isotope	Γ R-m²/Ci-hr	Γ X-m²/MBq-hr
Antimony-122	0.24	1.67E—09
Cesium-137	0.33	2.30E—09
Chromium-51	0.016	1.11E—10
Cobalt-60	1.32	9.19E—09
Gold-198	0.23	1.60E—09
Iodine-125	0.07	4.87E—10
Iodine-131	0.22	1.53E—09
Iridium-192	0.48	3.34E—09
Mercury-203	0.13	9.05E—10
Potassium-42	0.14	1.39E—09
Radium-226	0.825	5.75E—09
Sodium-22	1.20	8.36E—09
Sodium-24	1.84	12.80E—09
Zinc-65	0.27	1.88E—09

فاصله
منبع نقطه ای (نحوه محاسبه قدرت چشمه گاما)
مثال

- کبالت ۶۰ که دو فوتون با انرژی های ۱.۱۷ و۱.۳۱ میلیون الکترون ولت برای هر فروپاشی دارد میزان قدرت چشمه کبالت را بدست آورید:

$$\Gamma = 3.65\times10^{-9}\times(1\times1.17+1\times1.31) \approx 9.1\times10^{-9} \left(\frac{C/Kg.m^2}{MBq.hr}\right)$$

$$\Gamma = 0.5\times(1\times1.17+1\times1.31) \approx 1.3 \left(\frac{R.m^2}{Ci.hr}\right)$$

- نتایج فوق از جدول اسلاید قبلی نیزقابل حصول است

فاصله
منبع نقطه ای (نحوه محاسبه آهنگ دز توسط یک چشمه گاما)
مثال

- میزان آهنگ دز ناشی از ۳۷ مگا بکرل چشمه کبالت ۶۰ در فاصله ۱ متری چند روتنگن بر ساعت خواهد بود؟ (آیا میزان دز دریافتی بالاتر از حد مجاز است)

$$A = 37\ \ MBq\ ,100\ mCi$$

$$\Gamma = 1.3\left(\frac{R.m^2}{Ci.hr}\right)$$

$$dR = \frac{\Gamma \times A}{d^2} = \frac{1.3\times 100\times 10^{-3}}{1^2} = 0.13\ \frac{R}{hr}$$

میزان دزمجاز 0.025 میلي سيورت بر ساعت و يا 2.5 ميلي رم بر ساعت است در حالي كه مقدار آهنگ دز فوق تقريبا برابر 130 ميلي رم بر ساعت است كه از حد مجاز بالاتر است

فاصله
منبع نقطه ای (نحوه محاسبه آهنگ دز توسط یک چشمه گاما)
مثال

- اگر یک رادیوگراف بخواهد با چشمه مثال (اسلاید قبلی) حدود۱ ساعت در روز کار کند میزان آهنگ دز وی حداکثر میتواند ۰.۲ میلی سیورت بر ساعت باشد (یا ۲۰ میلی رم بر ساعت) اگر بخواهد با استفاده از فاصله به این حد برسد ، در چه فاصله ای از چشمه باید کارکند؟

$$\frac{dR_1}{dR_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \Rightarrow \frac{130}{20} = \frac{d_2^2}{1}$$

$$\Rightarrow d_2^2 = \frac{130}{20} = 6.5 \Rightarrow d_2 = 2.5\ \ m$$

فاصله
منبع نقطه ای (نحوه محاسبه آهنگ دز توسط یک چشمه گاما)
مثال

- اگر کارگر فوق بخواهد ۴۰ ساعت در هفته یا بعبارتی ۸ ساعت در روز کار کند، حد مجاز پرتوگیری وی ۰.۰۲۵ میلی سیورت بر ساعت و یا ۲.۵ میلی رم بر ساعت خواهد بود. در چنین شرایطی کارگر باید در چه فاصله ای از منبع کار کند؟

$$\frac{dR_1}{dR_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \Rightarrow \frac{130}{2.5} = \frac{d_2^2}{1}$$

$$\Rightarrow d_2^2 = \frac{130}{2.5} = 52 \Rightarrow d_2 = 7.2\ \ m$$

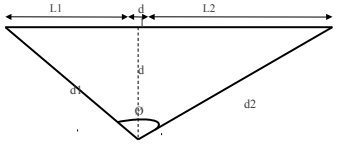
فاصله
منبع خطی

- در منابع خطی همچون لوله های فاضلاب و یا .. میزان آهنگ دز در فواصل مختلف با منابع نقطه ای تفاوت خواهد داشت.
- میزان آهنگ دز درفاصله d برای یک المان کوچک dL لوله از رابطه زیر بدست می آید:

اکتیویته خطي بر حسب كوري يا مگا بكرل بر متر

$$dR = \frac{\Gamma \times C_l \times dl}{l^2 + d^2}$$

كل طول منبع خطي



فاصله
منبع خطی

- میزان آهنگ دز برای کل لوله بشکل زیر بدست خواهد آمد:

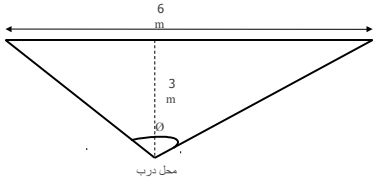
زاویه بر حسب رادیان

$$dR = \Gamma C_l\left(\int_0^{l_1}\frac{dl}{l^2+d^2} + \int_0^{l_2}\frac{dl}{l^2+d^2}\right)$$

$$\Rightarrow dR = \frac{\Gamma C_l}{d}\left(\tan^{-1}\left(\frac{l_1}{d}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{l_2}{d}\right)\right) = \frac{\Gamma \times C_l \times \theta}{d}$$

فاصله
منبع خطی (مثال)

- در یک اتاق به طول ۶ متر یک لوله باریک سدیم ۲۴ عبور میکند. درب اتاق درست وسط اتاق در فاصله ۳ متری از لوله مطابق شکل زیر قرار گرفته است. اگر غلظت اکتیویته خطی برای هرمتر ۱۰۰ مگابکرل باشد، میزان دز معادل در قسمت در و همچنین دز معادل درفاصله ۱.۵ متری از لوله را محاسبه کنید؟



فاصله
منبع خطی (حل)

- میزان قدرت چشمه برای سدیم ۲۴ با استفاده از جدول مربوطه بدست آمده و آنگاه آهنگ دز در فاصله ۳ متری با استفاده رابطه مربوط به منبع خطی بشرح ذیل محاسبه میگردد:

$$\Gamma = 1.28\times10^{-8}\ \ {}^{C/kg.m^2}/_{MBq.hr}$$

$$dR = \frac{2\Gamma C_l}{d}\tan^{-1}\left(\frac{l}{d}\right) = \frac{2\times1.28\times10^{-8}\times100}{3}\tan^{-1}\left(\frac{3}{3}\right)$$

$$dR = 8.53\times10^{-7}\times\frac{\pi}{4} = 6.7\times10^{-7}\ \ {}^{C/kg}/_{hr}$$

$$6.7\times10^{-7}\left({}^{C/kg}/_{hr}\right)\times34\left({}^{Gy}/_{C/kg}\right)\times1\left({}^{Sv}/_{Gy}\right) = 0.023\times10^{-3}\ \ {}^{Sv}/_{hr}$$

$$= 0.023\ \ {}^{mSv}/_{hr}\ or\ \ 2.3\ {}^{mrem}/_{hr}$$

که میزان دز دریافتي در این نقطه در حد مجاز است

فاصله
منبع خطی (حل)

- باداشتن آهنگ دز در یک فاصله خاص میتوان آهنگ آنرا در هر فاصله دیگر، از رابطه زیر بدست آورد:

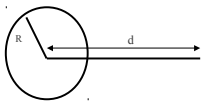
$$\frac{dR_1}{dR_2} = \frac{\frac{\Gamma C_l\theta_1}{d_1}}{\frac{\Gamma C_l\theta_2}{d_2}} \Rightarrow \frac{dR_1}{dR_2} = \frac{d_2}{d_1}\times\frac{\theta_1}{\theta_2}$$

$$\theta_1 = 2\tan^{-1}\left(\frac{3}{3}\right) = \frac{\pi}{2},\ \ \theta_2 = 2\tan^{-1}\left(\frac{3}{1.5}\right) = 1.4\pi$$

$$\frac{0.023}{dR_2} = \frac{1.5}{3}\times\frac{{}^{\pi}/_{2}}{1.4\pi} \Rightarrow dR_2 = 12.8\ {}^{mSv}/_{hr}\ or\ 12.8\ {}^{mrem}/_{hr}$$

فاصله
منبع سطحی

- در منبع سطحی آهنگ دز از رابطه زیر بدست می آید:



اکتیویته سطحي

$$dR\left({}^{Sv}/_{hr}\right) = 34\pi\times\Gamma\left(\frac{Xunit.m^2}{MBq.hr}\right)\times C_a\left({}^{MBq}/_{m^2}\right)\times\ln\left(\frac{R^2+d^2}{d^2}\right)$$

$$dR\left({}^{rem}/_{hr}\right) = \pi\times\Gamma\left(\frac{R.m^2}{Ci.hr}\right)\times C_a\left({}^{Ci}/_{m^2}\right)\times\ln\left(\frac{R^2+d^2}{d^2}\right)$$

فاصله
تاثیر فاصله درمنبع سطحی

- در این منبع نیز با داشتن آهنگ دز در یک فاصله خاص میتوان اندازه آهنگ را در هر فاصله دیگر با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد:

$$\frac{dR_1}{dR_2} = \frac{\ln\left[\left(R^2+d_1^2\right)/d_1^2\right]}{\ln\left[\left(R^2/d_2^2\right)/d_2^2\right]}$$

فاصله
منبع سطحی (مثال)

- ۵۰ مگا بکرل محلول 24Nacl در یک سطح گرد با قطر ۵۰ سانتی متر مفروض است. میزان دز گاما را در فاصله ۳۰ سانتی متری و یک متری محاسبه کنید؟
- حل: ابتدا از جدول مربوطه میزان قدرت چشمه را بدست می آوریم همچنین لازم است میزان اکتیویته خطی را نیز محاسبه کنیم لذا داریم:

$$\Gamma = 1.28\times10^{-8}\ \ \frac{Xunit.m^2}{MBq.hr}$$

$$C_a = \frac{50\ MBq}{\pi r^2} = \frac{50}{\pi\times(0.25)^2} = 254.65\ \ \frac{MBq}{m^2}$$

فاصله
منبع سطحی (حل)

- میزان آهنگ دز در فاصله ۳۰ سانتی متری از رابطه نیزبدست می آید:

$$dR_{30cm} = 34\times3.14\times1.28\times10^{-8}\times254.65\times\ln\left(\frac{0.25^2+0.3^2}{0.3^2}\right)$$

$$\Rightarrow dR_{30cm} = 1.84\times10^{-4}\ \ {}^{Sv}/_{hr}\ ,\ = 0.184\ {}^{mSv}/_{hr}\ ,\ = 18.4\ \ {}^{mrem}/_{hr}$$

- آهنگ دز در فاصله یک متری را میتوان بشکل زیر با استفاده از آهنگ دز در فاصله ۳۰ سانتی متری بدست آورد:

$$\frac{dR_{30\,cm}}{dR_{1m}} = \frac{0.184}{dR_{1m}} = \frac{\ln\left[\left(0.25^2+0.3^2\right)/0.3^2\right]}{\ln\left[\left(0.25^2+1^2\right)/1^2\right]} = 0.021\ \ {}^{mSv}/_{hr}$$

جنبه های بهداشتی پرتوهای یونساز

جلسه دوازدهم

حفاظت در برابر پرتوگیری خارجی
حفاظ

- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای آلفا
  - بدلیل برد کوتاه پرتوهای آلفا در صورتی که چشمه مولد در خارج از بدن قرار گیرد، مشکل خاصی بدلیل پرتوگیری خارجی ناشی از این پرتو نخواهیم داشت.
  - این پرتوها پس از طی مسافت کوتاهی (چند سانتی متر) در هوا یا عبور از یک ورقه کاغذ یا لباس و یا لایه خارجی (بافت مرده) پوست انرژی خود را از دست می دهند.

حفاظ

- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای بتا
  - بدلیل خصوصیات پرتوهای بتا و نحوه برخورد آن با مواد در طراحی حفاظ در برابر پرتوهای بتا به دو عامل زیر باید توجه نمود:
    - برد ماکزیمم پرتوهای بتا
    - تابش ترمزی ناشی از جذب بتا در خود چشمه و جذب در حفاظ

به همین دلیل حفاظ چشمه های بتا ازدولایه زیر تشکیل میشود:

- **لایه اول**: ماده ای با عدد اتمی پائین(مانند پلاستیک و پلکسی گلاس) بمنظور کاهش پرتو ترمزی و توقف پر انرژی ترین پرتوهای بتا .
- **لایه دوم**: ماده ای با عدد اتمی بالا (مانند سرب) بمنظور کاهش شدت پرتو ترمزی ناشی از خود چشمه و لایه اول به حدی قابل قبول.

حفاظ بتا

- مهمترین مواد برای جلوگیری از نفوذ اشعه بتای خالص ، مواد با عدد اتمی پائین می باشد.
- شیشه ارزان است ولی شکننده و کار کردن با آن ساده نیست.
- چنانچه مشاهده طرف دیگر حفاظ ضروری نباشد میتوان از آلومینیوم یا چوب نیز استفاده کرد.
- جدول زیر ضخامت های لازم را برحسب میلی متر برای انرژیهای مختلف بتا در موارد گوناگون نشان می دهد:

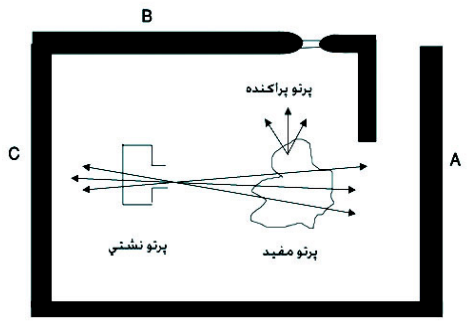
	انرژی ماکزیمم (میلیون الکترون ولت)			
حفاظ				
	0.5	1	2	3
مواد با عدد اتمی پائین	2	4	7	7
چوب	4	7	14	7

- شیشه معمولی برای مواد بتا دهنده با انرژی پائین‌تر از ۱ میلیون الکترون ولت کافی بوده و در محلولهای ذرات بتا بطور قابل ملاحظه ای توسط خود محلول حفاظ میشوند

حفاظ
حفاظ گذاری در برابر پرتوهای ایکس و گاما

- پرتوهای ایکس وگاما دارای قدرت نفوذ زیادی در ماده می باشد.
- در این پرتوها ضریب توزین پرتو برابر ۱ میباشد، لذا در این دسته از پرتوها راد و رم و حتی رونتگن با یکدیگر برابر میباشند لذا در انجام محاسبات از هر یک از این واحدها میتوان استفاده نمود و در این خصوص حساسیت خاصی وجود ندارد.
- پرتوهائیکه در یک اتاق تشعشع (Radiation Room) با آن روبرو هستیم عبارتند از:
  - پرتوهای مفید (پرتوهائی که بدون برخورد مانع از چشمه خارج میشود)
  - پرتوهای نشتی (پرتوهائی که از جدار محفظه مولد خارج میشود)
  - پرتوهای پراکنده (پرتوهائی که در اثر برخورد به بخارات و یا اجسام دیگر و دیوارهای اتاق به اطراف پراکنده میشود)

حفاظ گاما



- حفاظی که در مقابل پرتو مفید قرار می گیرد حفاظ اولیه (Primary protective barrier) و حفاظی که در مقابل پرتوهای نشتی و پراکنده قرار می گیرد حفاظ ثانویه (Secondary protective barrier) می باشد.

حفاظ گاما
اصول اساسی طرحهای حفاظتی

1. قسمت عمده حفاظ تا حد امکان در نزدیکی لوله مولد پرتو باشد. (بارعایت این اصل ضخامت حفاظ کاهش نیافته بلکه مساحت آن تقلیل می یابد، در صورت امکان توصیه میشود که قسمت عمده حفاظت در محفظه خود دستگاه منظور شود)
2. در صورت امکان محدود کردن امتداد پرتوهای مفید (باریک کردن امتداد پرتو باعث کاهش سطح حفاظ اولیه مورد نیاز و کاهش پرتوهای انعاسی و پراکنده خواهد بود، باید سعی نمود حفاظ اولیه روی در وپنجره قرار نگیرد)
3. کاهش شدت پرتوها طبق قانون عکس مجذور فاصله
4. از خصوصیات معماری ساختمان استفاده شود

حفاظ گاما
حفاظ گذاری

- همانطور که میدانیم در یک شرایط هندسی خوب (شرایط هندسی بد هنگامی است که پرتو گسترده است و یا جذب کننده ضخیم است که در این صورت باید از ضریب تولید و انباشت در معادله استفاده کرد) تضعیف باریکه ای از پرتو گاما را می توان از معادله زیر بدست آورد.

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

- در برخی روشها ضخامت بر اساس طول واهلش مشخص میشود.(طول واهلش برابرضخامتی از حفاظ است که شدت یک باریکه نازک پرتو را به e/۱ شدت اولیه اش کاهش دهد) .

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu t} \Rightarrow \frac{1}{e} = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-1} = e^{-\mu t} \Rightarrow t = \frac{1}{\mu}$$

- مقدار یکای طول واهلش برابر عکس ضریب تضعیف است.

حفاظ گذاری
مثال

- می خواهیم چشمه ای از سزیوم ۱۳۷ با فعالیت ۳۷۰۰۰ مگا بکرل را هنگامی که مورد استفاده قرار نمیگیرد در یک محفظه سربی کروی انبار کنیم. ضخامت سرب چقدر باشد تا آهنگ دز معادل در فاصله ۱ متری چشمه از ۲.۵ میلی رم بر ساعت (۰.۰۲۵ میلی سیورت بر ساعت) تجاوز نکند ؟ (منبع را نقطه ای در نظر بگیرید).
- حل:

$$\Gamma = 2.3\times10^{-9}\ \frac{X.m^2}{MBq.hr},\ \mu = 1.24\ cm^{-1}$$

$$dR_{1m} = \frac{\Gamma \times A}{1^2} = 3.7\times10^{4}\times2.3\times10^{-9} = 8.5\times10^{-5}\ {}^{X}\!/_{hr}\ \left({}^{2890\ \mu Sv}\!/_{hr}\right)$$

$$\frac{dR_s}{dR_1} = e^{-\mu t} \Rightarrow \frac{0.025}{2.890} = e^{-1.24\times t} \Rightarrow t = 3.83\ cm$$

- در اینجا چون افزایش ضخامت ناشی از تاثیر ضریب تولید و انباشت در محاسبات دخالت داده نشده است لذا ضخامت برآورد شده کمتر از حد لازم برآورد شده است.

حفاظ گاما
حفاظ گذاری

- یکی از روشهای توصیف قدرت نفوذ این پرتوها تخمین ضخامت حفاظ در برابر آنهاست.
- لایه نیمه کننده (Half Value Layer) یا HVL ضخامتی از ماده است که اگر در مسیر پرتو ایکس یا گاما قرار گیرد شدت پرتو را به نصف مقدار اولیه کاهش میدهد.
- در صورتی که از دو لایه نیمه کننده متوالی در مسیر پرتو استفاده شود شدت پرتو به ¼ کاهش می یابد.
- در صورتی که n لایه نیمه کننده لازم باشد رابطه زیر برقرار میباشد:

$$\frac{I_0}{I} = 2^n$$

حفاظ گاما
حفاظ گذاری

- لایه یکدهم کننده (Tenth Value Layer) یا TVL ضخامتی از ماده است که اگر در مسیر پرتو ایکس یا گاما قرار گیرد شدت پرتو را به ۱۰/۱ مقدار اولیه کاهش میدهد.
- .در صورتی که m لایه یکدهم کننده لازم باشد رابطه زیر برقرار میباشد:

$$\frac{I_0}{I} = 10^m$$

مقادیر لایه های نیمه کننده و یکدهم کننده برای چند نوع ماده (cm)

منبع پرتو	سرب		آهن		سیمان	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
تکنیسیوم 99m	0.02					
ید 131	0.72	2.4			4.7	15.7
سزیوم 137	0.65	2.2	1.6	5.4	4.9	16.3
ایریدیوم 192	0.55	1.9	1.3	4.3	4.3	14
کبالت 60	1.1	4	2	6.7	6.3	20.3
اشعه ایکس 100 kv	0.0026	0.087			1.65	5.42
اشعه ایکس 200 kv	0.043	0.142			2.59	8.55

نکته: HVL و TVL معمولاً برای سرب از سایر حفاظها برای چشمه های فوق کمتر است.

سوال

- میزان ضخامت لایه نیم کننده و یکدهم کننده سرب، را برای سزیوم و کبالت با استفاده از رابطه نمائی محاسبه و با مقادیر جدول مقایسه کنید؟

مثال

- آهنگ دز در فاصله ۱ متری از یک چشمه ایریدیوم ۱۹۲، ۱۰۰ میلی سیورت در ساعت می باشد. در صورتیکه بخواهیم آهنگ دز در این فاصله به ۱ میکروسیورت در ساعت کاهش یابد:

الف: چند لایه یکدهم کننده مورد نیاز می باشد؟

حل: تعداد لایه های یکدهم کننده

$$\frac{I_0}{I}=10^m \Rightarrow \frac{100000\ \mu Sv}{1\ \mu Sv}=10^m \Rightarrow m=5$$

ب: در صورتیکه بخواهیم در این حفاظ گذاری از سرب استفاده کنیم، ضخامت حفاظ سربی را محاسبه کنید؟

حل: با استفاده از جدول ضخامت یکدهم کننده سرب برای ایریدیم ۱۹۲ برابر ۱.۹ سانتی متر است لذا ضخامت کلی حفاظ سربی برابر خواهد بود با:

$$5\times 1.9=9.5\ cm$$

ادامه مثال

ج : در صورتیکه بجای استفاده از جدول ضخامت یکدهم کننده بخواهیم از فرمول ذکر شده برای کاهش شدت گاما استفاده کنیم میزان ضخامت بدست آمده برای سرب چند سانتی متر خواهد بود:

حل: از جدول ضریب تضعیف خطی برای انرژی فوتونهای گاما تابش شده از ایریدیوم ۱۹۲ که انرژی بین ۰.۳ تا ۰.۵ میلیون الکترون ولت را دارند بین ۴.۰۲ تا ۱.۶۴ بوده که میانگین آن ۲.۴۲ خواهد شد لذا:

$$\frac{I}{I_0}=e^{-\mu t} \Rightarrow \frac{1}{100000}=e^{-2.42t} \Rightarrow t=4.76\ cm$$

همانطور که ملاحظه می شود این روش میزان ضخامت حدودا نصف مقدار واقعی نشان میدهد که علت هم در عدم تاثیر ضریب تولید و انباشت در معادله فوق می باشد.

ادامه مثال

د: در صورتیکه در این حفاظ گذاری از سیمان استفاده کنیم، ضخامت حفاظ سیمانی را محاسبه کنید؟

حل: ضخامت لایه یکدهم کننده سیمان برای ایریدیوم ۱۹۲ برابر ۱۴ سانتی متر میباشد با توجه به لایه های مورد نیاز که ۵ میباشد میزان ضخامت مورد نیازعبارت خواهد بود از:

$$5\times 14=70\ cm$$

با مقایسه نتایج ضخامت مورد نیاز سربی و بتونی میتوان با توجه به امکانات و شرایط از حفاظ مناسب استفاده نمود.

مثال

در صورتیکه بخواهیم پرتوزائی یک چشمه کبالت ۶۰ را به ۰.۰۶۷ مقدار اولیه خود کاهش دهیم :

الف: چه تعداد نیمه کننده باید در اطراف چشمه قرار گیرد؟

حل:

$$\frac{I_0}{I}=2^n \Rightarrow \frac{1}{0.067}=2^n \Rightarrow n=3.9$$

ب : اگر از سرب بعنوان حفاظ استفاده شود ضخامت کل حفاظ سربی را محاسبه کنید؟

حل: با توجه به تعداد لایه نیم کننده و همچنین جدول لایه نیمه کننده سرب برای کبالت ۶۰ برابر ۱.۱ سانتی متر می باشد لذا ضخامت کل برابر:

$$3.9\times 1.1=4.29\ cm$$

مثال

آهنگ دز در فاصله یک متری از لامپ یک دستگاه مولد پرتو ایکس با ولتاژ ۱۰۰ کیلوولت ۲۰ میلی سیورت است. در صورتیکه بخواهیم آهنگ دز در فاصله ۲ متری ۵ میکرو سیورت باشد ضخامت حفاظ سربی مورد نیاز را محاسبه کنید (منبع را نقطه ای در نظر بگیرید).

حل: میزان آهنگ دز د رفاصله ۲ متری به روش زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{dR_1}{dR_2}=\frac{d_2^2}{d_1^2} \Rightarrow \frac{20}{x}=5\ mSv \quad 5000\ \mu Sv$$

و با استفاده از مفهوم لایه یکدهم کننده، تعداد لایه های مورد نیاز عبارت خواهد بود از:

و با استفاده از جدول لایه یکدهم کننده برای این لوله ۰.۰۸۷ سانتی متر میباشد لذا ضخامت کل برابرحفاظ است با:

$$\frac{5000}{5}=10^m \Rightarrow m=3$$

$$3\times 0.087=0.261\ cm$$

حفاظ گاما

- گرچه سرب غالباً بعنوان حفاظ گاما بکار میرود (ولی معمولا در صورت کمبود فضا از ارزش بالائی برخوردار است) ولی این فلز یک عنصر گران قیمت است.
- لذا برای بعضی از اهداف قطعات کوچک آهن و فولاد در داخل بتون که منجر به حصول ضخامت و هزینه بین سرب و بتون می گردد، بکار میرود.
- با توجه به اینکه هوا ارزانترین حفاظ است میتوان حداکثر استفاده را نمود
- در بعضی موارد بشرط عدم وجود خطر خوردگی یا انحلال میتوان از آب استفاده کرد.
- اورانیوم تهی شده که دارای دانسیته بالائی نسبت به سرب است در بعضی مواقع برای ایجاد ماکزیمم حفاظ در حداقل فضا بکار میرود ولی هزینه آن بالاست و خطر از بین رفتن اتفاقی آن وجود دارد.

حفاظ گاما

خصوصیات یک ماده حفاظ

- با استفاده از وزن وضخامت مناسب مشکل بر طرف شود
- هم بعنوان مصالح ساختمانی و هم حفاظ باشد
  - بطور دائمی جلو پرتو را بگیرد
  - ازنظر رنگ شفاف باشد
  - ظاهر خوشایند داشته باشد
  - بسهولت قابل تهیه باشد.

- در انرژیهای پائین سرب مناسب است.
- در انرژیهای بالاتر میتوان از سایر حفاظها استفاده کرد.
- مواد شفاف:
  - شیشه معمولی (ضخیم) که دارای ضریب شکست بالائی است و برای رفع آن از گلیسرین یا روغن در فضای بین ورقه ها استفاده میشود
  - شیشه سرب دار

حفاظ گاما

- روپوش سربی:
  - روپوشهای سربی از پودر سرب همراه با ترکیبی از لاستیک کش دار قابل انعطاف ساخته میشوند
  - ضخامت آنها حداقل معادل ۰.۲۵ میلی متر سرب است
  - یک روپوش سربی حدود ۷۵ تا ۸۰٪ مغز فعال استخوان بدن را میپوشاند.
  - بعضی روپوشها از ترکیب باریم، تنگستن و سرب ساخته میشوند تا هم وزن کلی را کاهش داده (۳۰٪ کمتر) و هم مشکلات کارآئی سرب را در برخی انرژیها پوشش دهند.
  - روپوش سربی مخصوص پرتونگار باردار نیز موجود است
    - این روپوشها معادل ۰.۵ میلی متر سرب است
    - در ناحیه شکم با یک لایه سرب اضافی معادل ۱ میلی متر از پرتوگیری جنین جلوگیری میکند.

حفاظ گاما

- دستکش سربی
  - علاوه بر دستکشهای سربی معمولی که ضخامت آن معادل ۰.۲۵ میلی متر سرب است دستکشهای استریل مقاوم به پرتو نیز وجود دارد
    - این دستکشها از سرب با پوششهای لاستیکی ساخته شده اند (ظریف و کار با آنها راحت است)
- حفاظ تیروئید
  - غده تیروئید در زمان فلوروسکپی بیشترین میزان دز را دریافت میکند.
  - متوسط دز دریافتی بهنگام فلوروسکپی حدود ۶۰ میکروسیورت است.
  - استفاده از حفاظ تیروئید در طول فلوروسکپی این مقدار دز را تا ۱۰ برابر کاهش میدهد.
  - احتمال ایجاد غده های سرطانی در تیروئید خانمها چهار برابر آقایان است لذا حفاظ تیروئید برای خانمها از اهمیت بیشتری برخوردار است.

حفاظ گاما

- حفاظ چشمها و صورت
  - عینکهای سربی جهت حفاظت چشمها.
    - این عینکها ازمواد متنوعی با عدد اتمی بالا مثل سرب یا باریم ساخته شده اند.
    - می توانند دز چشم را تا ۹۸٪ کاهش دهند.
  - ماسکها با شیشه سربی جهت حفاظت صورت.
- حفاظ متحرک
  - حفاظهای متحرک سربی معمولا به گونه ای ساخته می شوند که به سهولت به محل مورد نظر منتقل شوند.
  - این حفاظها در آنژیوگرافی جهت حفاظت پزشکان استفاده میشود.

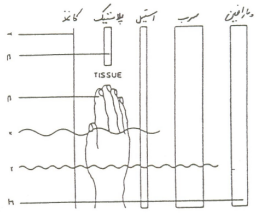
حفاظ گذاری در برابر نوترون

- نوترونها چون بار ندارند در برخورد با مواد براحتی انرژی خود را از دست نمی دهند.
- نوترون در ماده حرکت میکند تا به هسته اتم برخورد نماید.
- ماکزیمم انتقال انرژی هنگامی رخ میدهد که نوترون با هسته اتم هیدروژن یعنی پروتون (تقریباً جرم مساوی نوترون) برخورد کند.
- حفاظ گذاری در برابر نوترونها بر پایه کند سازی نوترونهای سریع و جذب نوترونهای کم انرژی استوار است.
- بدلیل اینکه مواد هیدروژن دار نقش اساسی در کند سازی و تضعیف نوترون دارند برای حفاظ چشمه های نوترونی از مواد هیدروژن دار مانند آب ، پارافین و ... استفاده می شود.
- هنگامی که نوترون انرژی خود را کاملاً از دست می دهد، جذب اتمهای ماده حفاظ می شود و یک رادیو ایزتوپ گاما را تولید می کند که باعث انتشار پرتوهای گاما در حفاظ چشمه نوترون می شود.

حفاظ گذاری در برابر نوترون (ادامه)

- بطور کلی حفاظ چشمه های نوترونی از دولایه تشکیل میشود:
- لایه اول: مواد هیدروژن دار
- لایه دوم: مواد سنگین مانند سرب به ضخامت کافی برای جذب گاماهای تولید شده در لایه اول

شکل زیرمیزان نفوذ پرتوهای مختلف را با یکدیگر مقایسه میکند.



جنبه های بهداشتی پرتوهای یونساز

جلسه سیزدهم

حفاظت در برابر پرتوگیری داخلی

- چنانچه عنصر پرتوزا بدون پوشش (باز یا قابل انتشار در محیط) باشد علاوه بر پرتوگیری خارجی امکان آلودگی داخلی (پرتوگیری داخلی) نیز وجود خواهد داشت.
- تازمانی که چشمه پرتوده در بدن وجود دارد همچنان پرتوگیری داخلی وجود خواهد داشت، تنها راه توقف و یا کاهش پرتوگیری، دفع سریع آن ماده از بدن می باشد.

راههای ورود عناصر پرتوزا به بدن

1. استنشاق(عمده ترین راه)
2. بلع
3. جذب از راه پوست سالم (برای ورود برخی از عناصر پرتوزا نظیر تریتیوم بصورت آب یا بخار و نیز عناصر ید پرتوزا بصورت بخار یا محلول حائز اهمیت است، گرچه پوست سالم یک مانع موثر برای ورود عناصر پرتوزا بشمار میرود)
4. جذب از طریق زخمها ی پوستی
5. قرار گرفتن بدن در معرض پرتوهای نوترون (مثلا تبدیل سدیم ۲۳ به سدیم ۲۴ که یک ماده رادیو اکتیو است)
6. ورود مواد پرتوزا بشکل عمدی

عملکرد بیولوژیکی عناصر پرتوزا در بدن

- این عملکرد در بدن طی چهار مرحله صورت میگیرد:

1. نشست
   - ✓ عناصری که قابل حل در مایع خارج سلولی بوده و قابل نفوذ به داخل خون باشند را عناصر قابل انتقال و در غیر اینصورت عناصر غیر قابل انتقال می نامند.
2. جابجائی
3. توزیع
4. دفع
   - ✓ عمدتا از طریق ادرار
   - ✓ بازدم
   - ✓ عرق و بزاق
   - ✓ مدفوع
   - نیمه عمر مؤثر

$$T_{eff} = \frac{T_p \times T_B}{T_p + T_B}$$

حفاظت در برابر پرتوگیری داخلی

- با توجه به راههای ورود عناصر پرتوزا به بدن جهت حفاظت شخصی باید بطرق مختلف جلوی این راههای ورودی را گرفت، راههای عمده شامل:

1. کنترل منبع پرتوزا (محفوظ و محصور کردن منبع).
2. کنترل محیط (تهویه و مراقبتهای لازم).
3. وسائل حفاظت شخصی.
4. مونیتورینگ پرتوگیری داخلی.

- اقدامات فوق عمدتاً شبیه اقدامات جهت آلودگی هواست که تفاوت آنها در حدود مجاز است.

حداکثر غلظت مجاز

- حداکثر غلظت مجاز چند ماده بر اساس سمیت شیمیائی و پرتوشناختی در جدول زیربا یکدیگر مقایسه شده اند:

نام عنصر	پرتوزا		غلظت مجاز (میلی گرم بر متر مکعب) غیر پرتوزا
بریلیوم	^{7}B	1.7×10^{-8}	**0.002**
جیوه	^{203}Hg	5×10^{-9}	**0.1**
سرب	^{210}pb	1×10^{-9}	**0.05**
ارسنیک	^{74}As	3×10^{-9}	**0.5**
کادمیوم	^{125}Cd	4×10^{-10}	**0.1**
روی	^{65}Zn	1.2×10^{-8}	**5**

محصور سازی

- ساده ترین نوع محصور سازی مواد پرتوزا محدود کردن کار با آنها در جاهای کاملا مجزا و کاملاً مشخص در آزمایشگاه و استفاده از آنها در ظروف جداگانه است.
  - این روش برای کار با آلودگی پائین است.
- اگر امکان رها شدن میزان بیشتری از آلودگی بصورت گاز و .. باشد معمولا از هود استفاده میشود.
- هود مواد پرتوزای آزاد شده را همراه با جریان هوا از طریق لوله ها خارج میکند
  - لذا لازمست هوای کافی در تمام اوقات به درون هود راه یابد.
  - مقدار هوای لازم بستگی به ماهیت فیزیکی مواد پرتوزای مورد استفاده دارد.
    - برای گاز و بخار جریان کمتری نسبت به ذرات معلق نیاز است.
  - برای جلوگیری از آلودگی هوای خارج از محیط کار ، ضروریست هوای خروجی توسط یک پاک کننده مناسب تصفیه شود.

محصور سازی (ادامه)

- برای کم کردن احتمال آلودگی محیط کار با مواد خارج شونده از هود، لازمست همه کانال کشیها تحت فشار منفی نگهداری شوند. در این صورت هرگونه نشت درکانال کشی به درون کانال کشیده خواهد شد.
- سرعت جریان نباید خیلی زیاد (باعث تلاطم نشود) و نه خیلی کم باشد.
  - برای گاز سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه در کانالها کافیست.
  - برای گردو غبار میزان سرعت جریان باید بین ۱۸ تا ۲۲ متر بر ثانیه باشد.
- اگر نوع کار پرتوزائی ایجاب می کند که محیط کار کاملا محصور باشد (د رمواقعی است که انجام عملی بالقوه بتواند محیط کار را به میزان ده برابر حد اکثر مجاز آلوده کند و یا مواقعی که مقدار زیاد هوای مورد نیازبرای هواکش وجود نداشته باشد) از یک محفظه دستکش دار استفاده می شود.

محصور سازی (ادامه)

- در جدول زیر محدوده پرتوزائی پیشنهاد شده برای کار در هودهای خلاء و جعبه های دستکش دار ارائه شده است.

طبقه بندی پرتو	عناصر پرتوزا	حدوده پرتوزائی هودها	جعبه های دستکش دار
1	241Am, 239Pu, 226Ra	kBq -37 MBq 370	MBq 37>
2	131I, 90Sr, 60Co	MBq – 3.7 370 GBq	GBq 3.7>
3	132I, 65Zn,32P,14C	GBq – 370 3.7 GBq	GBq 370>
4	238U, 85Kr,3H	GBq – 37 TBq 37	TBq 37>

کنترل محیطی

- این کنترل برای جلوگیری از خطرات ناشی از آلودگی پرتوزائی با طراحی مناسب ساختمانها ، اتاقها یا تأسیساتی که در آنها ایزوتوپهای پرتوزا بکار میروند شروع شده و با طرح مناسب روشها و فرآیندهائی که در آنها از مواد پرتوزا استفاده میشود ادامه می یابد.
- در هنگام طراحی تأسیسات به موارد زیر باید توجه شود :
  - قابلیت رفع آلودگی سطوح کار ، کف و دیوارها.
  - لوله کشیها و وسائل دیدبانی مربوط به انبار کردن پسماند پرتوزا.
  - تجهیزات مربوط به سوزاندن پسماندها.
  - تجهیزات مربوط به انبار کردن ایزوتوپها.
  - رخت کنها و حمامها.
  - تهویه و هدایت جریان هوا (بطوریکه ایمنی پرتوشناختی محیط خارج مختل نشود).

کنترل محیطی (ادامه)

- جدول زیر ضرایب تعدیل محدوده های پرتوزائی ذکر شده در جدول اسلاید قبلی را برای انواع عملیات ارائه نموده است.

نوع عملیات	ضریب تعدیل
عملیات مرطوب ساده	× 10
عملیات شیمیائی معمولی	× 1
احتمال پراکندگی مایع	× 0.1
عملیات خشک ساده	× 0.1
عملیات خشک غبار زا	× 0.01

کنترل فردی
(پوشاک حفاظتی)

- این پوشاک ممکن است شامل پالتوی آزمایشگاهی، روپوش ، کلاه و دستکش و کفش یا روکش کفش باشد.
- همیشه فرض می شود که پوشاک حفاظتی آلوده است ، لذا هنگام ترک محل کار باید آنرا از تن بیرون آورد.
- پوشاک حفاظتی باید طوری باشد که شخص بتواند براحتی آنرا از تن بیرون آورد بدون آنکه آلودگی را به بدن خود و یا به محیط اطراف منتقل کند.
- کارکنان باید قبل از ترک محل کار خوب بازرسی شوند.
- در اکثر موارد شستشوی پوشاک حفاظتی مشکل خاصی ایجاد نمیکند.
- در بیشتر موارد شستشوی عادی کفایت نمی کند و در صورت لزوم شستشوی بیشتر از یکبار انجام می شود.

کنترل فردی
(پوشاک حفاظتی)

- معمولاً در مرحله آبکشی ، سدیم هگزا متا فسفات یا عامل کمپلکس کننده نظیر سدیم اتیلن دیامین تترااستیک اسید NaEDTA استفاده شده تا آلودگی براحتی از لباسها جدا شود.
- پس از شستشولباسها بازرسی شوند تا مشخص شود که آلودگی تا حد معینی کاهش یافته است.
- اگر قسمتی از پوشاک بطور غیر عادی آلوده شده باشد ، از بین بردن آن شاید ساده تر از رفع آلودگی باشد.
- در برخی موارد تراکم مواد آلوده کننده در فاضلاب حاصل از شستشو خیلی کم است که میتوان آنرا مستقیما وارد سیستم فاضلاب بهداشتی نمود ولی باید قبل ازتخلیه خوب بازرسی شود.
- در صورتی که سطح فعالیت بالا باشد باید همچون پسماندهای پرتوزا با آنها برخورد شود.

کنترل فردی
(حفاظت تنفسی)

- نوع حفاظهای تنفسی به ماهیت آلاینده هوا برد وابسته است، لازم به یاد آوری است که وسائل حفاظ تنفسی را فقط برای آن خطراتی میتوان بکار برد که برای آن طراحی شده اند.
  - **رسپیراتور نوع صافی دار:** فقط برای آلودگیها بشکل گرد و غبار قابل استفاده هستند.
  - **ماسکهای تنفسی:** برای حفاظت در برابر گرد و غبار و گازها و بخارات
    - برخی از این ماسکها مجهز به مخزنهای هوای تمیز هستند که با شخص حمل میشوند.
    - برخی هوای تمیز را توسط لوله از خارج محیط برای شخص فراهم میکنند.
  - **ماسکهای گاز :** برای جذب گازهای پرتوزا مورد استفاده قرار میگیرد
    - ماده جذب کننده درون یک ماده شیمیائی نظیر ذغال فعال قرار دارد.
    - این ماده برای جذب یدهای پرتوزا و برخی دیگر از گازهای سمی از هوای استنشاقی قابل استفاده است.

مونیتورینگ

- مونیتورینگ عبارت از اندازه گیریهای مربوط به ارزیابی کنترل پرتوگیری از پرتوها ومواد پرتوزا است.
- انواع مونیتورینگ:

1. مونیتورینگ محیط زیست: (وسعت زیادی دارد)
   - مونیتورینگ پرتوهای محیطی
   - مونیتورینگ آلودگی هوا (از همه مهمتر است)
   - مونیتورینگ آلودگی آب
   - مونیتورینگ آلودگی مواد غذائی

انواع مونیتورینگ

2. مونیتورینگ محیط کار با پرتو
   - ✓ مونیتورینگ پرتوهای محیطی (پرتوگیری خارجی)
   - ✓ مونیتورینگ آلودگی سطوح کار
   - ✓ مونیتورینگ آلودگی هوا
2. مونیتورینگ فردی
   - ✓ مونیتورینگ پرتوگیری خارجی
   - ✓ مونیتورینگ آلودگی پوست
   - ✓ مونیتورینگ آلودگی داخلی بدن

مونیتورینگ فردی

- اهداف:
  - بدست آوردن برآوردی از دز معادل متوسط و دزمعادل موثر.
  - محدود نمودن دزهای پرتوئی به کارکنان در حدود توصیه شده.
  - تامین اطلاعات د رمورد روندهای دزهای دریافتی توسط کارکنان.
  - تامین اطلاعات در هنگام پرتوگیری تصادفی.
  - برای بررسیهای اپیدمیولوژیک جهت برآورد ریسک پرتوها.
- انواع:
  - مونیتورینگ روزمره Routine Monitoring.
  - مونیتورینگ عملیاتی Operational Monitoring.
  - مونیترینگ ویژه Special Monitoring .

متدهای سنجش رادیو نوکلوئیدها در بدن

1. اندازه گیری رادیو نوکلوئیدها در محیط (هوا ، آب و مواد غذائی)
   - ✓ برآورد مقادیر وارد شده به بدن از طرق فوق.
   - ✓ برآورد جذب و زمان ماند رادیو نوکلوئیدها در بدن با توجه به مدلهای متابولیک.
   - ✓ چون اکثر ارزیابی های اجتماعی از طرق فوق انجام میگیرد لذا مدلهای متابولیک حائز اهمیت هستند.
2. اندازه گیری پرتوهای خروجی از بدن یا اندازه گیری غلظت رادیو نوکلوئید ها در نمونه های بافتی.
3. اندازه گیری غلظت رادیو نوکلوئیدها در مواد دفعی یا هوای بازدم و استفاده ازمدلهای متابولیکی.

شمارش خارجی بدن
External Body Counting

- این متد برای پرتوهای نافذ یعنی ایکس و گاما استفاده میشود که شامل:
  - شمارش تمام بدن whole body counting
  - شمارش قسمتهائی از بدن Partial body counting :
    - برای نوکلوئیدهائی که در تمام بدن توزیع نمیگردند مثلا برای ید ۱۳۱ و ید ۱۲۵ از شمارش غده تیروئید استفاده میشود Thyroid uptake test
    - شمارش پرتوهای ایکس ناشی از تجزیه رادیو نوکلوئیدهای نشست کرده در ریه ها (نظیر PUo2) استفاده میشود Chest counter
- این تکنیک برای پرتوهای با قدرت نفوذ کم قابل استفاده نمی باشد.

اندازه گیری رادیونوکلوئیدها در مواد بیولوژیکی
Bioassay Method

- مواد بیولوژیکی شامل:
  - ادرار (معمولترین برای رادیونوکلوئیدهای قابل انتقال).
  - مدفوع (برای رادیونوکلوئیدهای غیر قابل انتقال).
  - بازدم (مثلا گاز رادن).
  - ترشحات بینی (استنشاق مواد رادیواکتیو).
  - خلط (رادیونوکلوئیدهای غیر محلول که در دستگاه تنفس نشست کرده).
  - عرق بدن.
  - خون و مو (مثلا تولید سدیم ۲۴ در اثر برخورد نوترون به سدیم ۲۳ بدن).
- با استفاده از معادلات متابولیکی میتوان مقادیر ابقاء و دفع را تعیین کرد.
- از معیارهای بدست آمده برای حفاظت نیز استفاده می شود (مثل ALI (Annual Limit of Intake))).

محاسبات دز داخلی بدن

- بمنظور ارزیابی خطرات لازمست میزان مواد رادیونوکلوئید نشست کرده در بدن ارزیابی گردد.
- چگونگی توزیع انرژی پرتو در قسمتهای مختلف بافتها را با کمیت فاکتور کیفی پرتو مشخص میکنند (QF)

$$H = DQN$$

- D: دز جذب شده (گری یا راد)
- Q: فاکتور کیفی پرتو
- N: فاکتورهای تعدیل کننده آهنگ دز ، تقسیم دز و..
- H: دز معادل (سیورت یا رم)

محاسبات دز داخلی بدن

- چون اثرات بصورت تجمعی است لذا باید از دزهای مجموع (committed dose) برای مدت زمان معین بعد از نشست رادیو نوکلوئید در بدن محاسبه گردد.
- معمولا این مدت زمان برای اشخاص بزرگسال ۵۰ سال در نظر گرفته میشود لذا:

$$H_{50} = \sum_i Q_i \overline{D}_{50,i}$$

- H_{50}: کل دز جذبی در طی 50 سال بعد از ورود رادیونوکلوئید ببدن بصورت متوسط در سرتاسر ارگان یا بافت معین و برای پرتوی مشخص i
- Q_i: فاکتور کیفی برای پرتوهای مشخص

محاسبات دز در مواد بتا دهنده در بدن

- چون برد پرتو بتا کوتاه است لذا فرض میشود که ذرات بتا انرژی خود را الزاما در نقطه ای که ساطع میگردند به بافت می دهند. (یعنی انرژی ذره بتا در گرم بافت برابر میزان انتشار انرژی در گرم بافت حاوی ماده رادیواکتیو است).
- نحوه محاسبه دز بتا در بدن:
  - برای محاسبه دز باید ابتدا آهنگ دز اولیه را محاسبه نمود.
  - سپس دز دریافتی در یک فاصله زمانی خاص (روز، ماه ،... کل زمان رادیو نوکلوئید نشست کرده در بدن) محاسبه می شود.

محاسبه آهنگ دز اولیه

- آهنگ دز اولیه یعنی سرعت انرژی دادن به واحد جرم بافت حاوی رادیو نوکلوئید.
- محاسبه آهنگ دز اولیه شامل مراحل زیر است:
  - منطقه مورد نظر برای محاسبه دز را انتخاب می کنیم.
  - اکتیویته موجود در آن منطقه را بر حسب میکروکوری تعیین و سپس مقدار اکتیویته را بر جرم ماده در آن نقطه تقسیم و غلظت اکتیوتیه را بر حسب میکروکوری بر گرم تعیین می نمائیم.
  - انرژی منتشره در گرم بافت در یک ثانیه را تعیین میکنیم (برای ذرات بتا این کمیت با انرژی داده شده در ثانیه در گرم بافت برابر است).
  - کمیت حاصل را به آهنگ دز در واحدهای مناسب (میلی راد بر ساعت) تبدیل می کنیم.

محاسبه آهنگ دز اولیه
(ادامه)

- مراحل ذکر شده بصورت عددی بشکل زیر نشان داده می شود:
- اگر غلظت رادیو نوکلوئید (اکتیویته در گرم بافت) را به C ، انرژی متوسط ذره بتا بر حسب Mev را به $\overline{E}$ (متوسط) و تعداد کسری ذرات بتای ساطع شده در هرتجزیه رادیو نوکلوئید را به f نشان میدهیم. آهنگ دز اولیه بتا بصورت زیر محاسبه می گردد :

$$D_{0\beta}(rad/s) = 5.92\times10^{-4} f\times C\times\overline{E}$$
$$D_{0\beta}(rad/hr) = 2.13\times f\times C\times\overline{E}$$
$$D_{0\beta}(rad/d) = 51.2\times f\times C\times\overline{E}$$

چنانچه رادیونوکلوئید در هر تجزیه یک ذره بتا ساطع کند ضریب fبرابر 1 خواهد بود

مثال

- آهنگ دز اولیه بتا به غده تیروئید در نتیجه تجویز مقدار ۱ میلی کوری ید ۱۳۱ به بدن یک بیمار با تیروئید هیپر اکتیو (برای مثال جذب ۶۸٪) را محاسبه کنید. وزن غده تیروئید شخص برابر ۳۰ گرم در نظر گرفته میشود.

$$\overline{E}_\beta = 0.187\ Mev$$
$$C = \frac{1000\times0.68}{30} = 22.7\ \ \mu ci/gr$$
$$D_{0\beta} = 51.2\times1\times22.7\times0.187 = 217\ \ rad/d$$

مثال

- آهنگ دز اولیه بتا ببدن ناشی از خوردن مقدار ۱۰ میلی کوری آب تریتیوم دار را محاسبه کنید (وزن کل آب بدن شخص استاندارد برابر ۴۳۰۰۰ گرم میباشد).

$$\overline{E}_\beta = 0.006\ \ Mev$$
$$C = \frac{10000}{43000} = 0.232\ \ \mu ci/gr$$
$$D_{0\beta} = 51.2\times0.232\times1\times0.006 = 0.07\ \ rad/d$$

دز بتا در مدت زمان معین و بینهایت

- با استفاده از آهنگ دز اولیه و همچنین خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی رادیونوکلوئید میتوان میزان دز بتا را در مدت معین و بینهایت (تجزیه کامل رادیونوکلوئید) بصورت زیر بدست آورد:

نیمه عمر موثر — **آهنگ دز اولیه** — **عمر متوسط موثر**

$$D_{\infty(Rad)} = D_0\times T_E^a = 1.44 D_0\times T_E,\quad T_E^a = 1.44 T_E$$
$$T_E = \frac{T_p\times T_B}{T_p+T_B},\quad T_E^a = \frac{1}{\lambda_E}$$
$$D_{t(RAd)} = D_\infty\times\left(1-e^{\lambda_E t}\right)\ \ or$$
$$D_{t(Rad)} = 73.8\times f\times C\times\overline{E}\times\left(1-e^{-\lambda_E t}\right)$$

مثال

- فرض کنید آهنگ دز اولیه به استخوان ناشی از فسفر ۳۲ برابر ۱۰۰ میلی راد در ساعت است اگر ثابت تبدیلی موثر برابر ۰.۰۶۲۹ باشد مقدا دزکل دریافتی و نیز مقدار دز دریافتی در ۳۱ روز را محاسبه کنید؟

$$T_E^a = \frac{1}{\lambda_E} = \frac{1}{0.0629} = 15.9\ (d),\ \ D_0 = 100\ \ (mrad/hr)$$

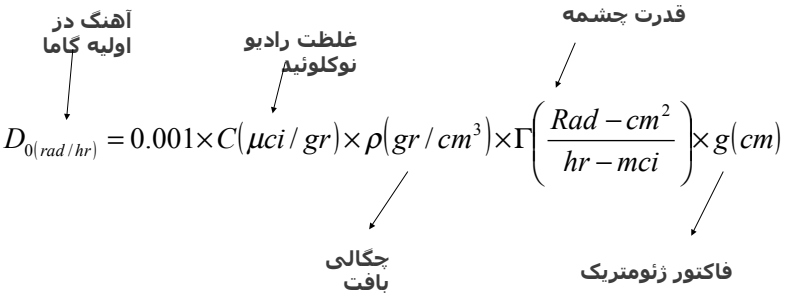
دز کل

$$D_\infty = D_0\times T_E^a = 100\times24\times15.9 = 38200\ \ (mrad)$$
$$D_t = D_\infty\left(1-e^{-\lambda_E t}\right)$$

مقدار دز در 31 روز

$$D_{(31\,days)} = 38200\times\left(1-e^{-0.0629\times31}\right) = 32900\ \ (mrad)$$

محاسبه دز جذبی ناشی از رادیونوکلوئیدهای گاما دهنده
Geometrical Factor Method



فاکتور ژئومتریک (g)

وزن							
	200	190	180	170	160	150	140
100	138	139	142	145	147	150	154
90	134	136	138	140	143	146	148
80	129	130	131	134	136	139	141
70	123	124	125	126	129	131	135
60	117	118	119	120	122	125	128
50	112	113	114	116	117	119	122
40	102	104	105	106	108	109	110

مثال

- مقدار متوسط آهنگ دز اولیه گاما را به بدن شخص با وزن ۷۰ کیلوگرم و قد ۱۷۰ سانتی متر که مقدار ۵۰۰ میکروکوری سدیم ۲۴ بصورت درون وریدی به وی تزریق شده را محاسبه کنید. قدرت چشمه ۱۸.۱ در معیار Rad است. و مقدار g از جدول برای شخص مورد نظر ۱۲۶ سانتی متر است. لذا خواهیم داشت:

$$D_0 = 0.001 \times C \times \rho \times \Gamma \times g = 0.001 \times \frac{500}{70000} \times 1 \times 18.1 \times 126$$
$$= 0.063 \ \ rad/hr$$

- برای محاسبه دز کل م نیز در زمان معین همچون روش ذکر شده برای پرتو بتا انجام می گردد.

جنبه های بهداشتی پرتوهای یونساز

جلسه چهاردهم

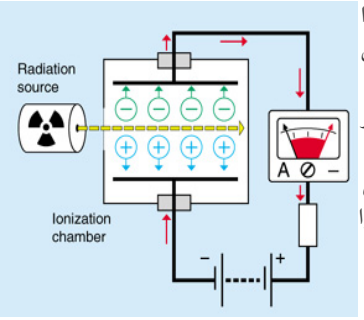
وسائل اندازه گیری پرتوهای یونساز

- انسان بطور طبیعی هیچ نوع احساسی برای درک تابش یونساز ندارد، لذا بطور کامل برای آشکار سازی و اندازه گیری تابش به وسائل اندازه گیری متکی است
- اصول اساسی بکار رفته در ابزارهای اندازه گیری بشرح جدول روبرو است:

آشکار ساز	نوع وسیله اندازه گیری	اثر
گاز	اتاق یونش	
گاز	شمارشگر تناسبی	الکتریکی
گاز	شمارشگر گایگر	
نیمه رسانا	حالت جامد	
امولسیون عکاسی	فیلم	شیمیایی
جامد یا مایع	دز سنج شیمیایی	
بلور یا مایع	شمارشگر سوسوزن	نور
بلور یا مایع	شمارشگر چرنکوف	
بلور	دزسنج گرمالیان	گرمالیان
جامد یا مایع	گرماسنج	گرما

شمارشگرهای گازی

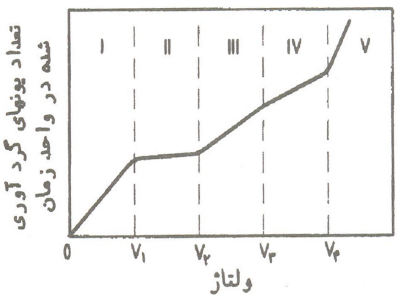
- در این شمارشگرها پرتو یونساز به گاز برخورد کرده و ایجاد یون مینماید، یون ایجاد شده تحت تأثیر اختلاف پتانسیل منبع تغذیه ، جریان پیدا میکند و تپ حاصل نشانگر رد پرتو یونساز می باشد.
- در این آشکار سازها فضای بین دو الکترود از گاز مناسبی پر شده است.
- با تغییر در اختلاف پتانسیل اعمال شده روی الکترودهای یک آشکارساز میتوان پنج ناحیه را تشخیص داد.



نواحی مختلف شمارشگرهای گازی

ناحیه I : در این ناحیه اختلاف پتانسیل اعمال شده به الکترود خیلی کوچک است در نتیجه شدت میدان الکتریکی بین دو الکترود کم است.

- در این شرایط یونهای مثبت و منفی فرصت کافی برای ترکیب مجدد داشته و احتمالاً اتم خنثی اولیه مجددا تولید خواهد شد و انرژی پرتو جذب شده بصورت گرما تلف خواهد شد. به این ناحیه، ناحیه ترکیب مجدد میگویند.



نواحی مختلف شمارشگرهای گازی (ادامه)

- ناحیه II : با افزایش اختلاف پتانسیل دو الکترود ، بار جمع شده در الکترود تقریبا یکسان می ماند، چون ترکیب مجددی صورت نمیگیرد و هیچ بار تازه ای غیر از آنچه که از برخورد پرتو در آشکار ساز تولید شده نیز بوجود نمی آید. به این ناحیه ، ناحیه یونش میگویند.
- ناحیه III : با افزایش اختلاف پتانسیل ، بار جمع شده افزایش می یابد. در واقع یونهای ایجاد شده دارای انرژی بالاتری بوده و در مسیرحرکت خود میتوانند یونهای بیشتری را نیز ایجاد کنند.
  - در نتیجه بهمنی از الکترون در قسمتهائی از آند مرکزی بوقوع می پیوندد. در نتیجه ارتفاع پالس خروجی افزایش می یابد.
  - با انتخاب یک ولتاژ خاص در این ناحیه ، مقدار یونسازی اولیه و بدنبال آن مقدار بهمنهای اطراف آند ، تنها با انرژی اولیه پرتو فرودی متناسب بوده و ارتفاع پالس بر حسب آن تغییر میکند. به این ناحیه ،ناحیه تناسبی میگویند.

نواحی مختلف شمارشگرهای گازی (ادامه)

- ناحیه VI : در این ناحیه با افزایش ولتاژ اعمال شده، میدان الکتریکی در حجم حساس اتاقک گازی بقدری شدید است که حتی تولید یک جفت یون در حجم حساس اتاقک منجر به بهمنهای متعدد و غیر قابل کنترلی از الکترون خواهد شد. لذا در خروجی ، پالس تقویت شده ای بدست می آید که ارتفاع آن مستقل از انرژی و نوع پرتو فرودی بوده و تنها به خصوصیات الکترونیک آشکار ساز وابسته است. به این ناحیه گایگر مولر می گویند.
- ناحیه V : اگر ولتاژ اعمالی در الکترود اتاقک گازی از مقدار V4 بیشترشود، یک یونش منفرد باعث تخلیه الکتریکی در گاز شده، گازدرون آشکار ساز به هادی تبدیل شده و بین کاتد و آند اتصال کوتاه برقرار شده و در چنین حالتی با ایجاد جرقه در گاز،آشکار ساز می سوزد.

نواحی مختلف شمارشگرهای گازی(ادامه)

- از ۵ ناحیه فوق فقط سه ناحیه برای اندازه گیری پرتوها مفید هستند.

1. ناحیه یونش (فشار نسبی بالاتر گاز مناسب است).
2. ناحیه تناسبی (بصورت فشار کم گاز مناسبتر است).
3. ناحیه گایگر مولر.

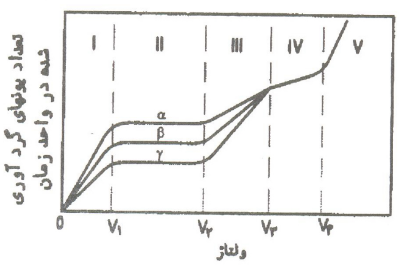
- جهت اندازه گیری دقیق آهنگ دز در هوا از یک اتاقک یونش (که حاوی هواست) استفاده میشود زیرا در نواحی تناسبی و گایگر مولر وجود اکسیژن سبب جذب سریع الکترونهای آزاد و تشکیل یونهای منفی و اکسیژن و درنهایت ترکیب بین یونهای مثبت و منفی و یونهای سنگین منفی شده که این خود جلو تزاید الکترون را در این گاز می گیرد.

اتاقک یونش

- اتاقک یونی نام آشکارسازیست که در ناحیه یونش II کار میکند.
- در این ناحیه نه ترکیب مجدد صورت می پذیرد و نه تکثیر الکترونی اتفاق می افتد.
- ارتفاع پالس خروجی برای پرتو با انرژی مشخص تغییر چندانی نمیکند.
- ارتفاع پالس خروجی به نوع (LET) و انرژی پرتو بستگی دارد.
- از معایب عمده این آشکار ساز ضعیف بودن پالسهای خروجی بوده که نیاز به تقویت کننده و یا یک شمارنده بسیار حساس دارد (بعبارت دیگر پالسهای ذرات سنگین نظیر آلفا و پروتون و پاره های شکست آشکار می شوند)
- از محاسن عمده این نوع آشکار ساز(و البته تناسبی) بستگی اندازه پالس حاصل به تعداد جفت یونهای تولید شده که این خود امکان تفکیک انواع پرتوها و نیز پرتوهای با انرژی متفاوت را میسر میکند.

شمارنده تناسبی

- این آشکار ساز در ناحیه تناسبی (III) کار می کند.
- در این ناحیه تکثیر الکترونی (بهمن قابل کنترل) صورت می پذیرد.
- ارتفاع پالس خروجی برای یک ذره با انرژی مشخص با تغییر ولتاژ بطور قابل ملاحظه ای تغییر میکند.
- ارتفاع پالس خروجی به نوع و انرژی پرتو بستگی دارد.



شمارنده تناسبی (ادامه)

- برای تعیین تعداد جفت یونهای حاصل از ضریبی بنام ضریب تقویت گازی (نسبت تعداد جفت یونهائی که جذب الکترودها می شوند به تعداد جفت یونهای اولیه که توسط پرتو تولید می شوند) استفاده میشود که با افزایش ولتاژ این ضریب افزایش می یابد.
- این نوع شمارنده دارای قابلیت تفکیک انواع پرتوها می باشد.
- با وجود بلند بودن پالسها، نیاز به تقویت کننده دارد.
- جهت اشکار سازی ذرات آلفا، بتا، گاما ونوترون میتوان استفاده کرد.

شمارنده گایگر مولر

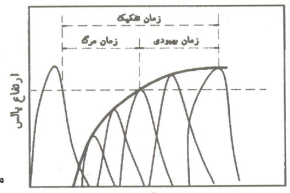
- این آشکار ساز در ناحیه گایگر مولر (VI) کار میکند.
- در این ناحیه تکثیر الکترونی (بهمن غیر قابل کنترل) صورت می پذیرد.
- ارتفاع پالس خروجی به نوع و انرژی ذره بستگی ندارد، لذا نمی توان از آنها جهت تشخیص انواع پرتوها و انرژیهای پرتوئی استفاده کرد.
- زمان مرگ این آشکار ساز طولانی است (حدود ۲۵۰ میکرو ثانیه)
- این آشکار ساز نیاز به تقویت کننده ندارد (ارتفاع پالس خروجی ۴/۱ ولت است).

زمان مرگ شمارنده گایگر مولر

- در یک شمارنده گایگر مولر ورود پرتو مصادف با تعداد زیادی بهمن در تمام حجم حساس آشکار ساز است.
- الکترونها ی منفی با سرعت زیادی به طرف آند حرکت کرده و جذب میشوند ولی یونهای مثبت به علت سنگینی با سرعت نسبی کمتری بسمت کاتد حرکت میکنند.
- شرایطی که تمام الکترونها جمع شده اند ، هنوز تعداد زیادی بار مثبت در همه جا از جمله در اطراف آند وجود دارد که نظیر یک پرده الکتریکی عمل نموده و از پتانسیل کاتد به طرز موثری میکاهد.
- در این شرایط اگر پرتو جدیدی وارد آشکار ساز شود، میدان الکتریکی کافی برای جمع کردن الکترونهای یونهای تولید شده و تکثیر آنها وجود ندارد ولذا مدتی طول میکشد تا یونهای مثبت فضای اطراف اند را تخلیه نموده و شدت میدان به میزان کافی برای شمارش پرتو جدید افزایش یابد، به این مدت زمان زمان مرگ می گویند.
- زمان مرگ: عبارتست از حداقل زمانی که باید بین دو ذره متوالی فرودی وجود داشته باشد تا شمارنده قادر به شمارش هر دو باشد.

زمان مرگ

- هرچه یونهای مثبت بیشتری در کاتد جمع آوری شوند، اختلاف پتانسیل بین دو الکترود به مقدار اولیه نزدیکتر شده و در نتیجه چنانچه ذره ای در طول این مدت وارد شمارنده شود، شمارش می شود ولی ارتفاع پالس خروجی نسبت به پالس اولیه کوچک تر خواهد بود.



- زمان بهبودی : عبارتست ا مدن پالس کامل اولیه .
- مجموع زمان مرگ و بهبودی زمان تفکیک نامیده می شود.

آشکار سازهای سوسوزن

- آشکارساز سوسوزن مبدلی است که انرژی پرتو یونساز را به درخشش نوری تبدیل می کند.
- این آشکار سازها بشکل جامد، مایع وگاز وجود دارند.
- بازده آشکار سازهای گازی برای پرتوهای آلفا و بتا نزدیک به ۱۰۰٪ است ولی برای پرتوهای گاما بسیار کم و معمولا کمتر از ۱٪ است.
- بازده آشکار سازهای جامد برای پرتوهای گاما بسیار زیاد است.
- آشکار سازهای مایع برای کاربردهای تحقیقاتی بخصوص برای اندازه گیری کربن ۱۴ و تریتیوم بطور وسیع بکار میروند. ولی در کاربردهای عملی فیزیک بهداشت کاربرد ندارند.
- فرآیند آشکار سازی سوسوزنی به دو بخش تقسیم می شود:

1. جذب انرژی پرتو فرودی در سوسوزن وتولید فوتونهای مرئی.
2. تقویت نورمرئی بوسیله لوله تقویت گرنوری و تولید پالس خروجی.

انواع سوسوزنها

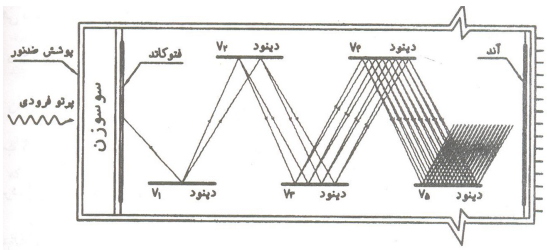
- سوسوزنها به اشکال معدنی (کریستالی) ، آلی و گازی وجود دارند.
- اغلب سوسوزنهای معدنی کریستالهای فلزات قلیائی به ویژه یدورهای فلزات قلیائی هستند که حاوی مقادیر جزئی از ناخالصی ها می باشند مثلاً:
  - یدور سدیم با ناخالصی تالیم (فعال کننده تالیم) NaI(Ti).
  - یدور سزیم با ناخالصی تالیم CsI(Ti).
  - یدور کلسیوم با ناخالصی سدیم .CaI(Na)
  - یدور لیتیوم با ناخالصی یروپیم LiI(EU).
  - فلورید کلسیوم با ناخالصی یروپیم CaF2(EU) .
- گر چه میزان ناخالصی ها بسیار کم است ولی نقش مهمی در تولید نور دارند.

لوله تقویت گرنوری

- این لوله که اختصارا به آن لوله نوری یا PM(فوتومولتی پلایر) می گویند. یک جزء جدانشدنی از آشکار سازهای سوسوزن است.
- لوله تقویت گر نوری از یک لوله شیشه ای خلاء که در آن ورودی فوتو کاتد (ماده ای که در اثر برخورد نور ایجاد الکترون آزاد می کند) و به دنبال آن چندین دینود قرار گرفته ، تشکیل شده است.
- فوتونهای تولید شده توسط سوسوزن وارد لوله نوری شده و به فوتوکاتد برخورد می کند.
- الکترونهای آزاد شده از فوتو کاتد در یک میدان الکتریکی به طرف اولین دینود هدایت می شوند.
- هر دینود از لایه خاصی پوشیده شده که دراثر برخورد الکترون به آن الکترونهای ثانویه با ضریب معین تولید می کند.
- الکترونهای تولید شده در دینود اول بطرف دینود دوم که پتانسیل بالاتر دارد هدایت شده و شتاب می گیرند و در این برخورد تعداد بیشتری الکترون آزاد میشود.

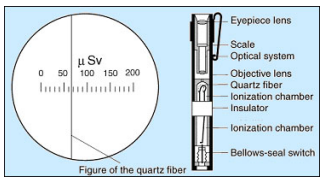
لوله تقویت گرنوری (ادامه)

- این عمل در دینودهای بعدی ادامه یافته و درنهایت پالس بلندی تولید میشود.
- پالس تولید شده توسط لوله نوری ، داری بزرگی متناسب با انرژی پرتو جذب شده در سوسوزن است.



وسائل اندازه گیری دز (دزیمتر جیبی)

- دستگاهی است برای اندازه گیری میزان دز دریافتی
- این دستگاه میتواند میزان اشعه ای را که در منابع تشعشعی بطور مستقیم و پراکنده به شخص می رسد اندازه بگیرد.
- نوعی از این دستگاه برای اندازه گیری اشعه ایکس و گاما و نوع دیگر آن برای اندازه گیری پرتوهای ذره ای است.
- دزیمتر جیبی در واقع نوعی اتاق یونیزاسیون خازنی است.
- بشکل خود نویس بوده و میتوان آنرا بلباس یا دهانه جیب وصل نمود.
- ظرفیت این دزیمتر در محدوده بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی رونتگن است



دزیمتر جیبی (ادامه)

- دزیمتر جیبی ممکن است خود مجهز به صفحه اندازه گیری باشد و یا برای خواندن میزان دز از دستگاه دیگری استفاده شود (پرکن – اندازه گیر)
- نوعی از دزیمترهای جیبی ، خود بخود مجهز به دستگاه اندازه گیری است، در ساختمان آن یک الکتروسکوپ با رشته ای از کوارتز قرار گرفته و برای خواندن دزیمتر را در مقابل نور نگهداشته با چشم از روی انحراف رشته کوارتز به مقدار دز جذب شده پی می برند.
- این دزیمترها حتی اگر در معرض پرتو قرار نگیرند خود بخود تخلیه میشوند (پرتوهای زمینه) که باید آنرا در محاسبات و اندازه گیری وارد نمود.

فیلم بج

- یکی از رایجترین وسائل کنترل و اندازه گیری مقدار پرتوگیری بدن است.
- عبارتست از فیلمی به اندازه فیلمهای مورد استفاده در دندانپزشکی (فیلم) + قابی از جنس پلاستیک یا فلز (بج)
- میزان دز پرتو از روی شدت سیاه شدن فیلم در اثر پرتو تعیین میشود.
- برای استفاده از دز پرتو ایکس ، بتا ونوترون استفاده میشود.
- فیلمها: بصورت لایه های نازک و شفافی از جنس پلاستیک یا سلولز هستند که یک یا هر دو طرف آن با ماده بسیار حساس عکاسی (Emulsion) آغشته شده (برمورنقره) که قطر دانه های آن در حساسیت کار اهمیت زیادی دارد (در پرتوگیری اشعه ایکس قطر این ذرات حدود ۰.۳ میکرون است)
- روی ماده حساس فیلم لایه بسیار نازک ژلاتینی پوشانده شده (نقش در فعل وانفعالات شیمیائی و حفاظت مکانیکی)
- فیلم با یک کاغذ مخصوص که نور از آن عبور نمی کند پوشیده شده است.
- مجموعه درون یک کاغذ ضخیم که شماره وکد گذاری شده قرار می گیرد.

فیلم بج (ادامه)

- بج: شامل چند منطقه است:
  - یک قسمت باز
  - ۵ قسمت دارای فیلترهای مختلف است:
    - سه نوع آن پائین پنجره باز (شامل صفحات نازک قلع، سرب ، کادمیوم وآلومینیوم)
    - دو پنجره از جنس پلاستیک با ضخامتهای مختلف بالای پنجره باز قرار می گیرد.
- این پنجره ها برای تشخیص پرتوهای متفاوت و همچنین پرتوها با انرژیهای متفاوت میباشد.مثلا ایکس و گاما را میتوان از همدیگر تشخیص داد.

فیلم بج
تشکیل تصویر نهان (latent image)

- اساس دزیمتری فیلم بج ایجاد فعل وانفعالات شیمیائی بعد از برخورد پرتو با ترکیبات نقره موجود در ماده حساس فیلم است.
- این فعل وانفعالات باعث سیاه شدن فیلم می شود.
- این سیاه شدگی را تصویر نهان می گویند.
- زیرا در حالت عادی پس از پرتوگیری چیزی روی فیلم دیده نمیشود(بلکه پس از ظهور و ثبوت این سیاهی قابل مشاهده است).
- علت سیاه شدن فیلم تاثیر پرتو بر برمورنقره و رسوب سیاه رنگ نقره است.
- پس از پایان ظهور و ثبوت، فیلم را با آب شستشو داده و فیلمهائیکه بیشتر پرتوگیری کرده اند، تاریکتر از فیلمهائی هستند که کمتر پرتوگیری کرده اند.

فیلم بج
(چگالی فیلم)

- برای تعیین میزان سیاهی (بعنوان عامل تعیین کننده میزان دز)، از میزان نور عبوری از فیلم استفاده می کند.
- به این منظور یک دسته پرتو نورانی به شدت I_0 را برروی فیلم می تابانند، قسمتی از این نور جذب وقسمتی دیگر بشدت I عبور میکند.
- کدورت فیلم عبارتست از نسبت شدت اولیه به شدت عبوری.
- چگالی فیلم عبارتست از:

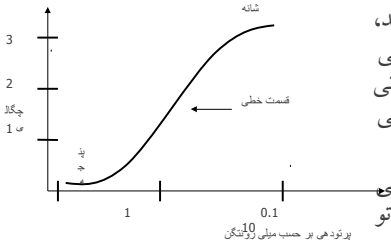
$$D = \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

- چگالی ایجاد شده روی فیلم متناسب با میزان پرتو تابیده شده روی فیلم دارد.
- در خصوص نوترون مسیرهای تشکیل شده روی فیلم شمارش می شود.

فیلم بج
(منحنی مشخصه)

اگر یک فیلم تحت تاثیر یکدسته پرتوقرار گیرد :

- اثر فوتون روی فیلم ایجاد سیاهی میکند، اگر شدت فوتونها بیشتر شود، سیاهی بیشتری روی فیلم خواهیم داشت. بعبارتی پاسخ فیلم تابعی از مقدار پرتو تابشی است.
- با تغییر در شدت پرتو می توان منحنی رسم نمود که پاسخ فیلم را بمقدار پرتو تابیده ربط دهد.



فیلم بج
(منحنی مشخصه)

- منحنی رسم شده را منحنی مشخصه میگویند که شامل پنجه (Toe) ، خطی (linear) و شانه (shoulder) می باشد.
- در قسمت پنجه منحنی پاسخ فیلم به تشعشع خیلی کم است (این قسمت در بازرسی پرتوگیری کارکنان از اهمیت زیادی برخوردار نیست).
- قسمت خطی برای اندازه گیری مقدار پرتو تابشی بکار می رود.
- قسمت شانه نشانه آنست که به چگالی یا دانسیته اشباع رسیده ایم (ارزش این ناحیه برای اندازه گیری پرتوخیلی کم است).

دز نوترون

- در اثر برخورد نوترون با انرژی بیش از ۰.۵ Mev به لفاف کاغذی، امولسیون و حتی قاب فیلم پروتون از هسته خارج می شود.
- اثر پروتون بر روی فیلم مسیری بصورت خط بجا می گذارد.
- در صورتیکه انرژی نوترون کمتر از ۰.۵ Mev باشد پروتون حاصل انرژی کافی جهت اثر گذاری روی فیلم را ندارد.
- پس از ظهور و ثبوت فیلم را زیر میکروسکوپ قرار داده و تعداد خطوط ایجاد شده در هر سانتی مترمربع را می شمارند، این تعداد متناسب با میزان دز جذب شده می باشد.
- طبق قرار داد برای فیلمهائی از نوع Eastman Kodak NTA شمارش ۲۶۰۰ خط بر سانتی متر معادل ۱۰۰ میلی رم دز نوترون تابش شده از یک چشمه Pu-Be می باشد.

دز سنج گرمالیان
Thermo-luminescence Dosimeter
TLD

- بیشتر بلورها از جمله CaF2 که حاوی Mn بصورت ناخالصی است و LiF بعد از قرار گرفتن در معرض تابش چنانچه گرم شوند از خود نور گسیل می کنند. این نوع بلورها را گرمالیان می نامند.
- هنگامی که کریستال گرمالیان تحت تابش پرتو یونساز قرار می گیرد انرژی جذب شده باعث:
  - تحریک و یونسازی اتمهای کرستال میشود
  - الکترونها سطوح انرژی خود را ترک کرده و به مدارهای با سطوح انرژی بالاتر میروند
  - اکثر الکترونها پس از مدت زمانی به مدارهای خود باز میگردند
  - بعضی از آنها ممکن است به مدارهای الکترونهای ناخالصی برگردند و در آنجا بدام بیافتند.
  - در صورت گرم کردن کریستال، الکترونهای بدام افتاده آزاد شده و تولید نور میکنند.
  - مقدار نور تابشی با تعداد الکترونهای بدام افتاده متناسب است.
  - تعداد الکترونهای بدام افتاده نیز با انرژی جذب شده از پرتو یونساز متناسب است.

دز سنج گرمالیان
TLD

- هنگامی که یک نمونه از کریستال (مثلا LIF)را در مدت زمانهای مختلف گرم کنیم و منحنی شدت نورهای تابش شده را بر حسب زمانهای مختلف رسم کنیم منحنی درخشندگی (glow Curve) بدست می آید.
- تعداد پیکهای منحنی نشانه ای از مراکز ناخالصی است. سطح زیر منحنی درخشندگی مقدار دز را نشان میدهد.
- محدوده اندازه گیری از چند میلی راد تا چند صد راد است.