EVOLUȚIA RADIODIAGNOSTICULUI. NOȚIUNI DE RADIOFIZICĂ. RADIOPROTECȚIA

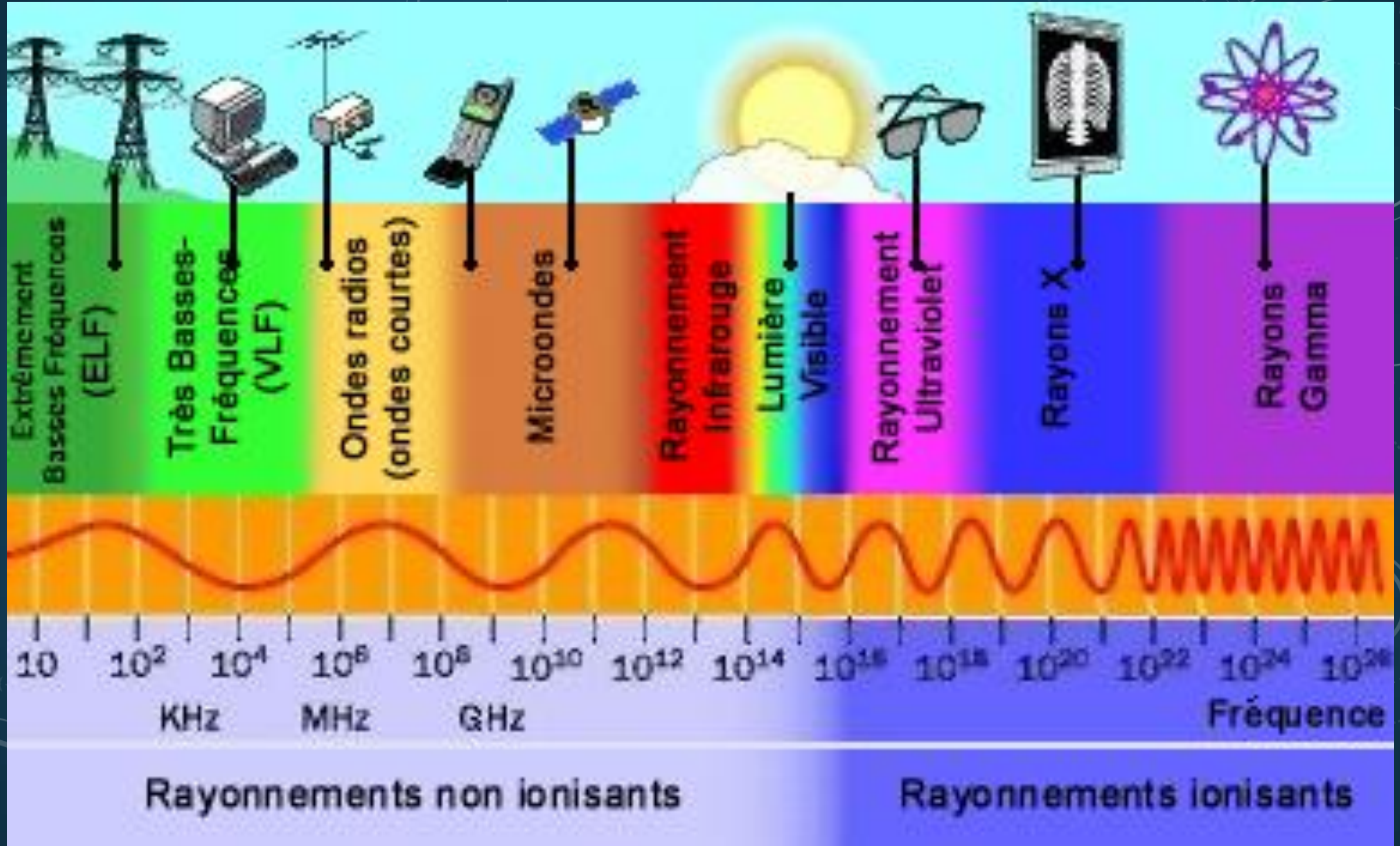
OXANA MALÎGA, CONF. UNIV., CATEDRA DE RADIOLOGIE ȘI IMAGISTICA

Imagistica medicală este ramura medicinei care se ocupă cu studierea organelor şi a sistemelor corpului uman cu scop de diagnosticare, control al tratamentului şi profilaxie a proceselor patologice, folosind unde electromagnetice.

Pe de altă parte, și pornind de la denumire, imagistica medicală poate fi definită ca diagnosticul prin imaginea, vizualizarea structurilor normale şi patologice ale corpului uman.

PĂRȚILE COMPONENTE ALE IMAGISTICII MEDICALE

1. Radiologia
2. Ultrasonografia
3. Imagistica prin rezonanța magnetică
4. Medicina nucleară
5. Termografia


Extrêmement Basses Fréquences (ELF)
Très Basses-Fréquences (VLF)
Ondes radios (ondes courtes)
Microondes
Rayonnement Infrarouge
Lumière Visible
Rayonnement Ultraviolet
Rayons X
Rayons Gamma
10
10^2
10^4
10^6
10^8
10^{10}
10^{12}
10^{14}
10^{16}
10^{18}
10^{20}
10^{22}
10^{24}
10^{26}
KHz
MHz
GHz
Fréquence
Rayonnements non ionisants
Rayonnements ionisants

PĂRȚILE COMPONENTE ALE IMAGISTICII MEDICALE

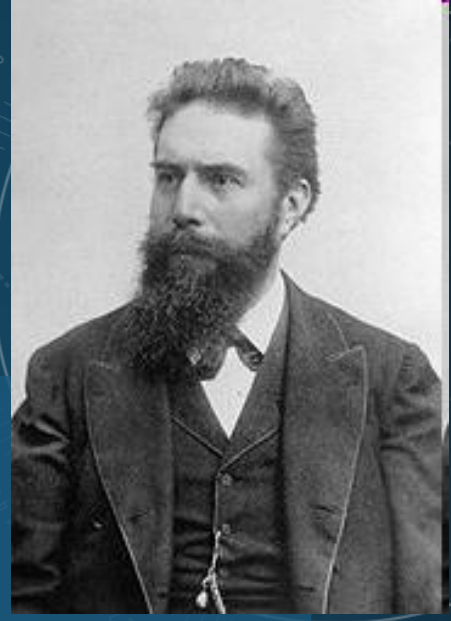
Partea componentă / Caracteristica	Radiologia	Ultrasonografia	Imagistica prin Rezonanța Magnetică	Medicina nucleară	Termografia
Energia utilizată	Razele X	Unde acustice	Unde radio	Razele gama	Razele infraroşii
Sursa energiei	Tubul radiologic	Cristalul piezoelectric	Magnetul și bobinele (antene)	Radonuclidul	Corpul uman
Explorarea morfologică	+++	+++	+++	+	++
Explorarea dinamică	+	++	+	+++	-
Terminologia	Opacitatea Hipertransparenţa (Hiperdens şi hipodens în cazul tomografiei computerizate)	Hiperecogen Hipoecogen	Hiperintensitate Hipointensitate	Nodul cald Nodul rece	Hipertermie Hipotermie
Acţiunea ionizantă	+	-	-	+	-
Contraindicaţii absolute		-	Dispozitive electronice implantate, corpuri metalice străine	Sarcina	-
Contraindicaţii relative	Sarcina Investigaţii profilactice la copii	-	Unele dispozitive metalice implantate (proteze)		-
Substanţe de contrast	Substanţe cu diferite densitaţi	Substanţe cu microbule	Substanţe paramagnetice		

- **Radiologia,** din punctul de vedere al diagnosticului medical, este ramura medicinei care se ocupă cu examinarea corpului omenesc cu ajutorul razelor X.

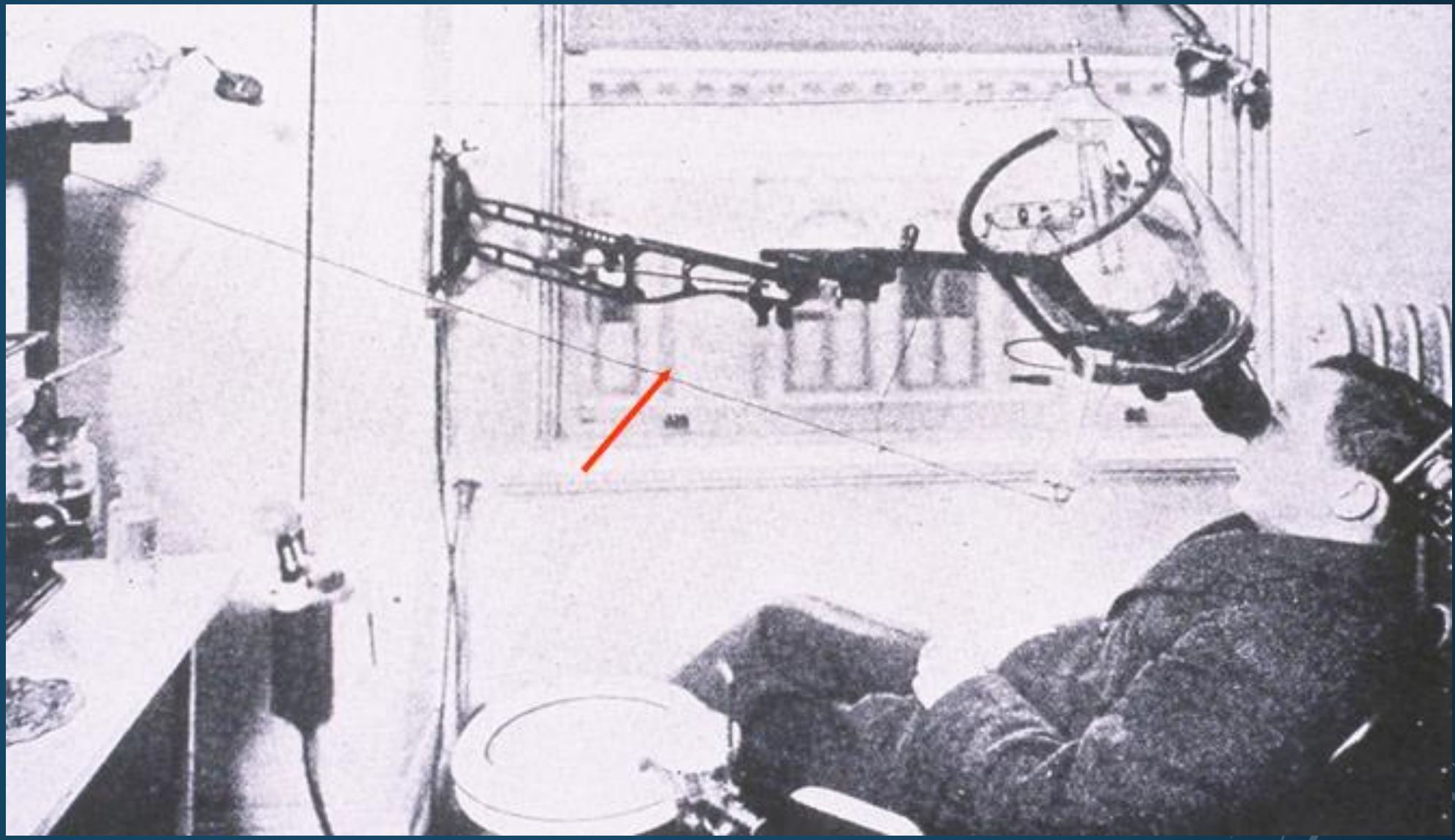
- **Radiațiile X sunt radiații electromagnetice ionizante, invizibile, cu lungimi de undă mici cuprinse între 0,01 şi 100 Å (ångström), un angstrom reprezentând a 10000-a parte dintr-un micron sau 10^{-10} m.**

RADIAȚIILE X

- Radiațiile X au fost descoperite în anul 1895 de către fizicianul german Wilhelm Conrad Röntgen în mod întâmplător, în timp ce experimenta cu razele catodice (fascicul de electroni) provenite de la un tub de sticlă vidat cu 2 electrozi.
- Roentgen le-a numit raze X, deoarece natura lor era necunoascută. Ulterior acestea au fost numite și raze (radiații) Roentgen sau Röntgen, în cinstea fizicianului care le-a descoperit.
- Pentru această descoperire în anul 1901 a fost acordat primul Premiu Nobel în domeniul fizicii.



PRIMA RADIOGRAFIE DENTARĂ A FOST EFECTUATĂ ÎN 1895 DE CĂTRE DENTIST GERMAN OTTO WALKOFF. EXPOZIȚIA A DURAT 25 DE MINUTE.

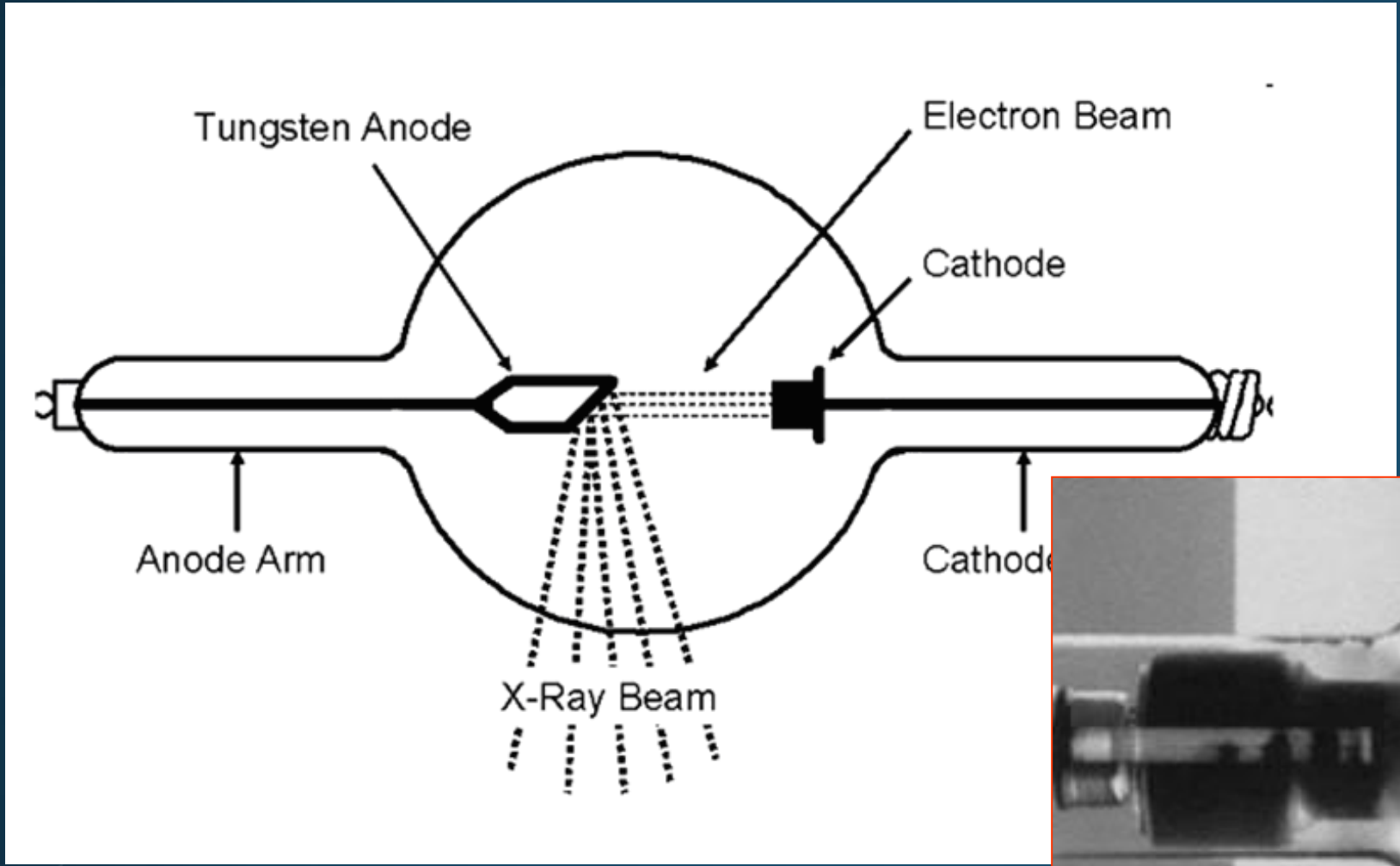


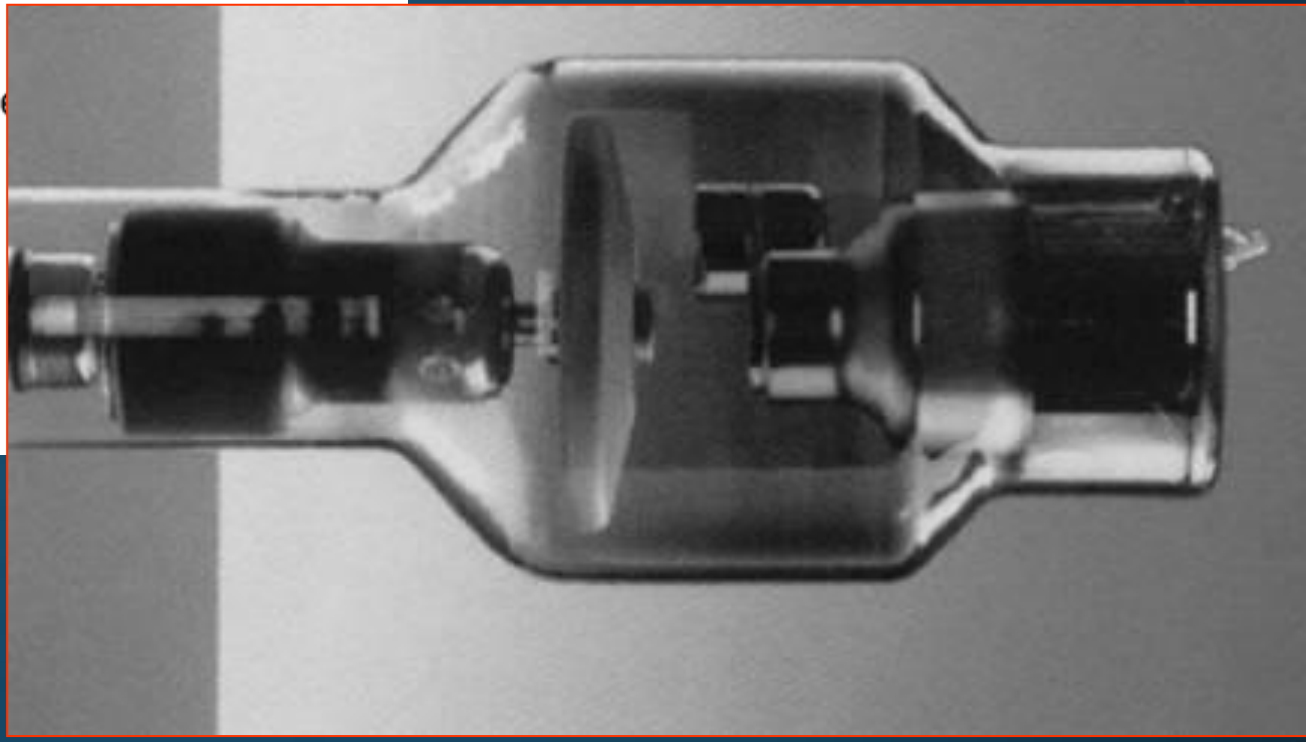
TUBUL RADIOGEN

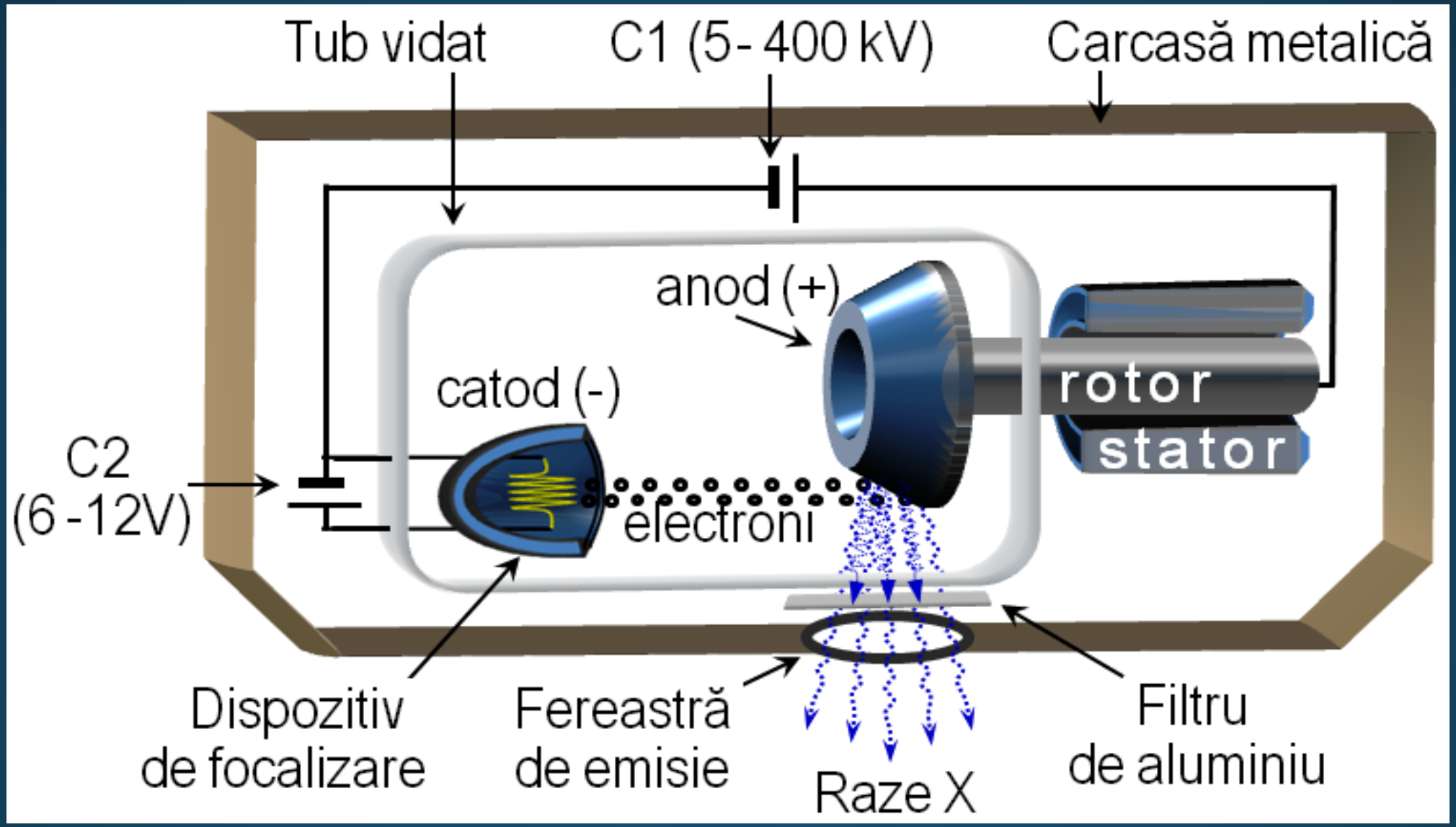
- În imagistica medicală razele X sunt produse în tubul radiogen, numit și tub generator de radiații sau tub Roentgen.

- Obținerea lor implică două etape:
  a) obținerea unui fascicul de electroni accelerați pentru a avea o energie suficient de mare;
  b) frânarea bruscă a electronilor care au fost accelerați prin lovirea de o țintă metalică, energia lor cinetică transformându-se în unde electromagnetice (fotoni) cu lungimea de undă în spectrul razelor X.

TUBUL RADIOGEN

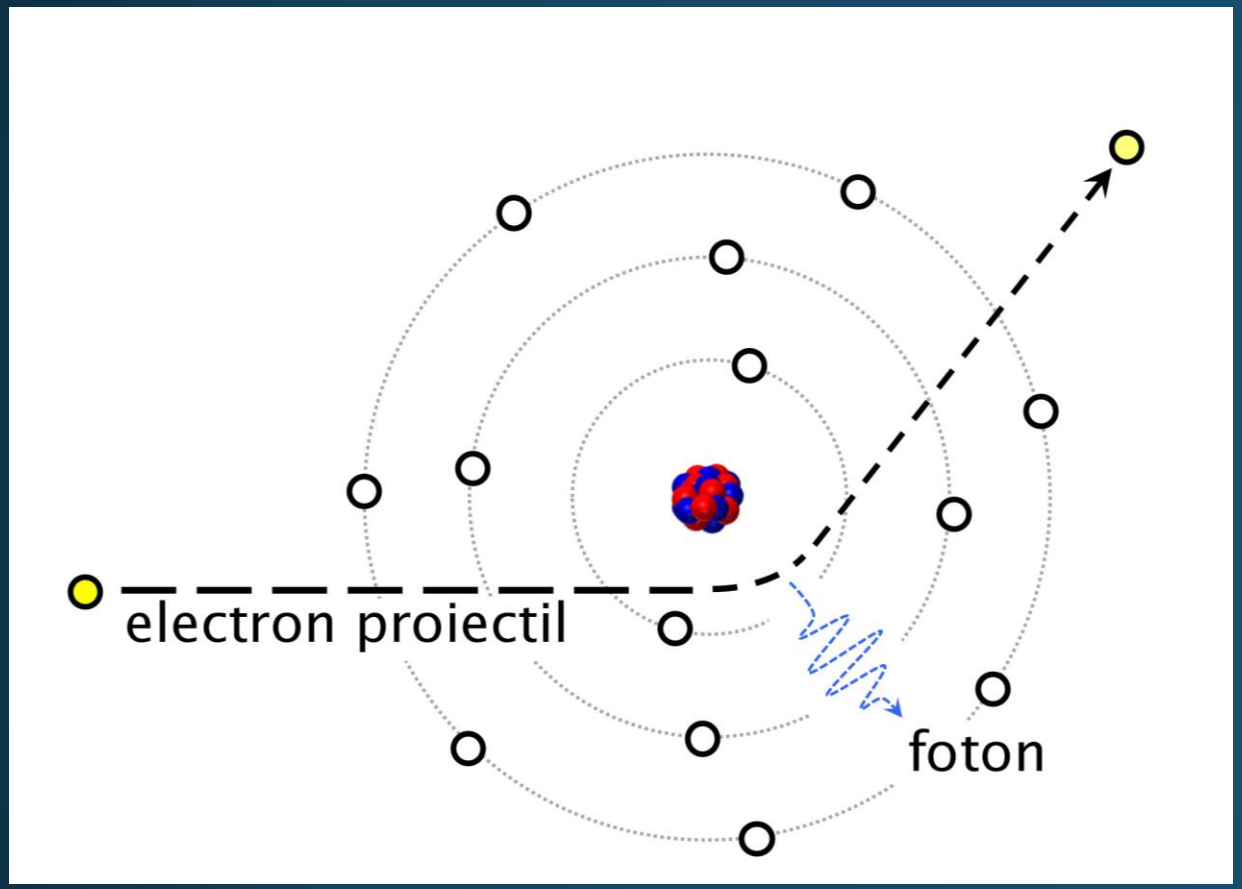


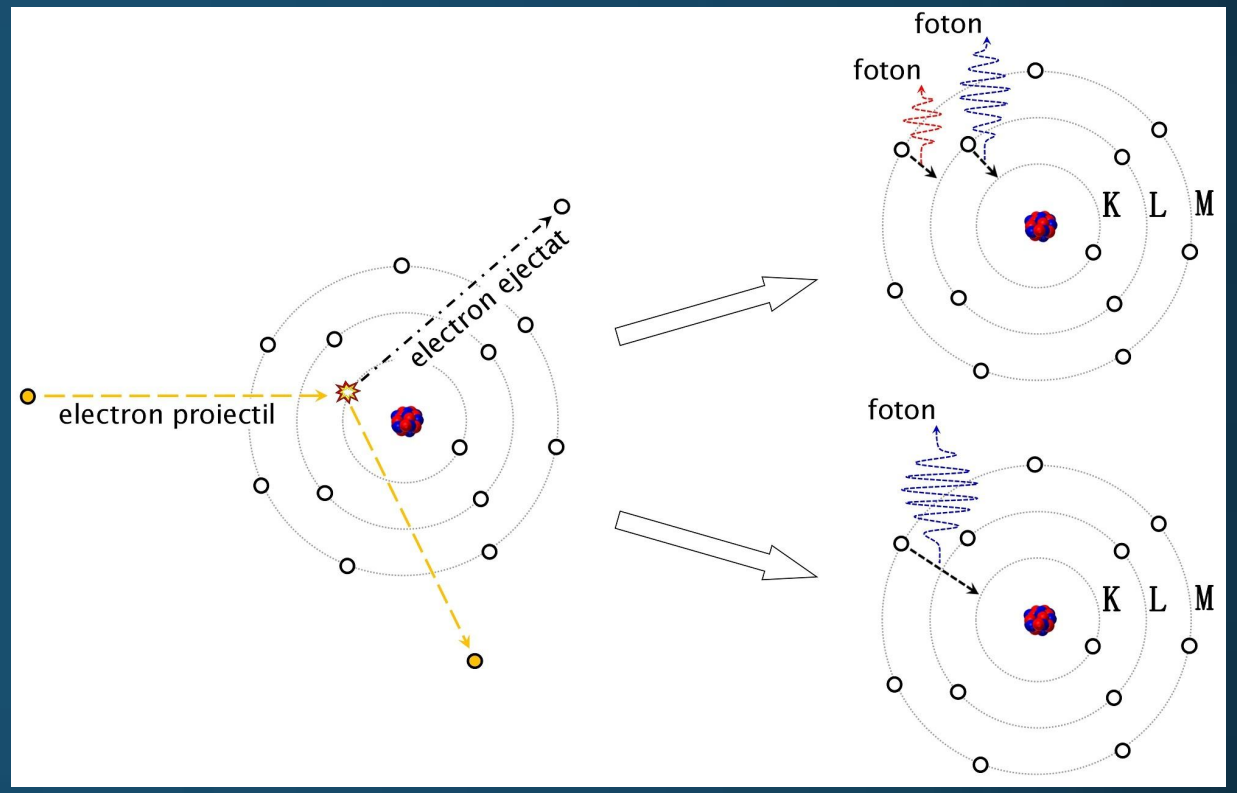




- **C1 – circuit de înaltă tensiune între catod și anod pentru crearea diferenței de potențial și accelerarea electronilor către anod.**
- **C2 – circuit de tensiune joasă pentru încălzirea filamentului catodului.**

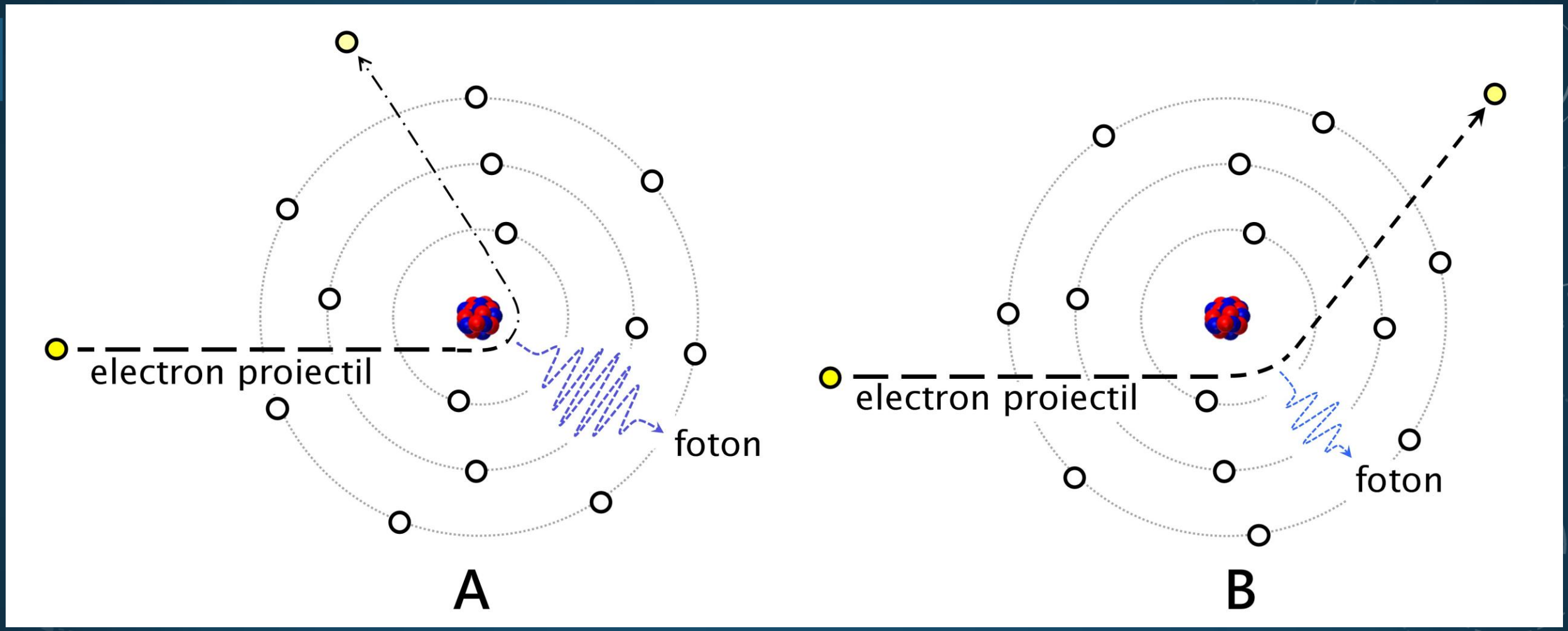
În funcție de modul de producere, radiațiile X se împart în radiații de frânare și radiații caracteristice:





Radiații de frânare (Bremsstrahlung)

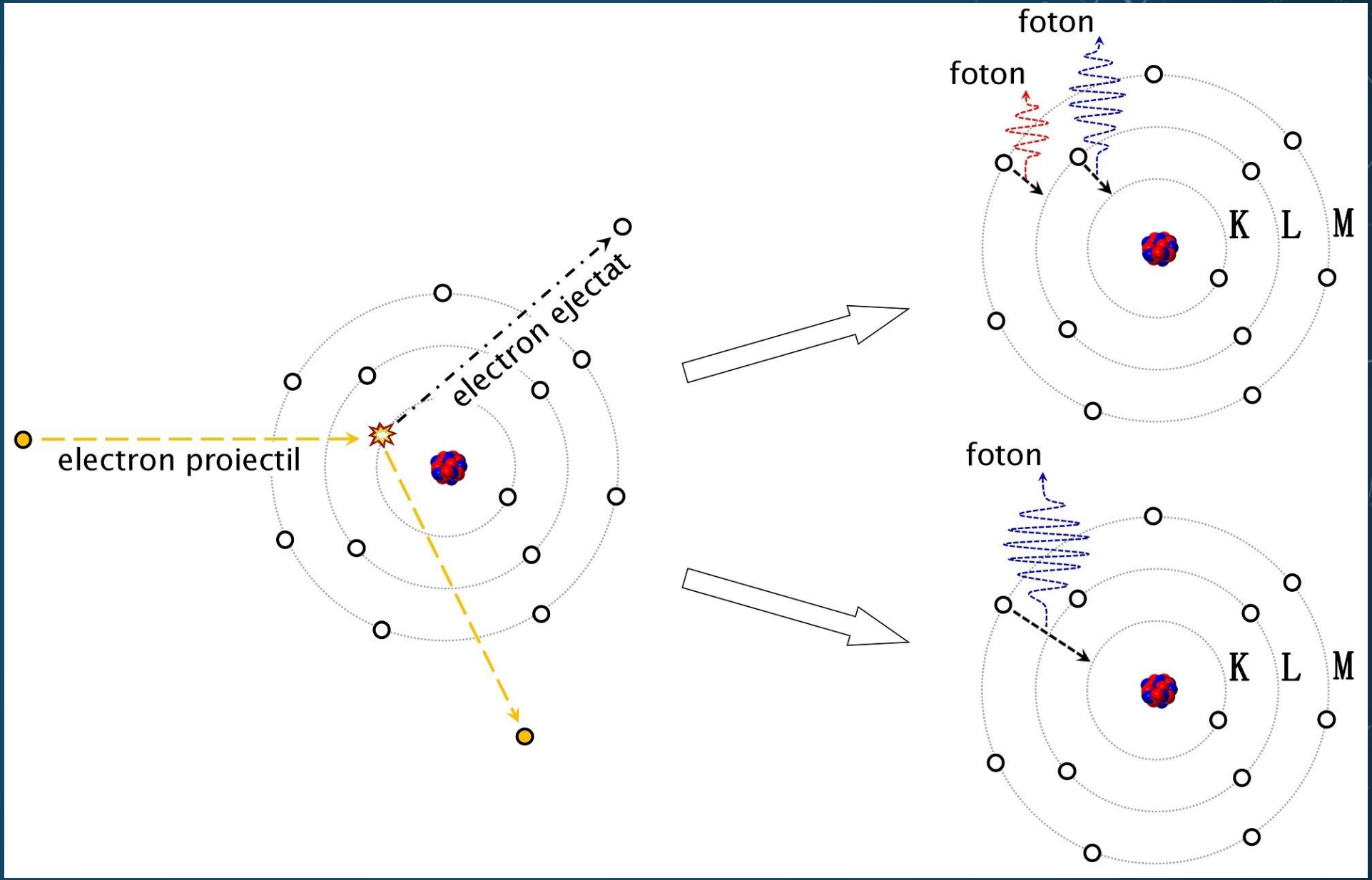
Radiații caracteristice



Radiații de frânare

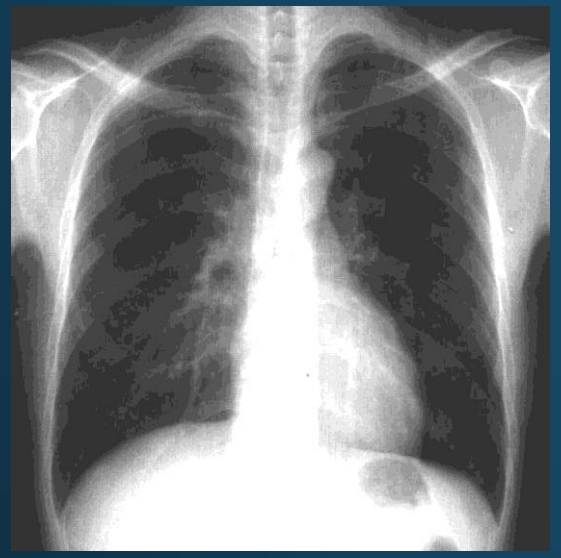
Radiații caracteristice

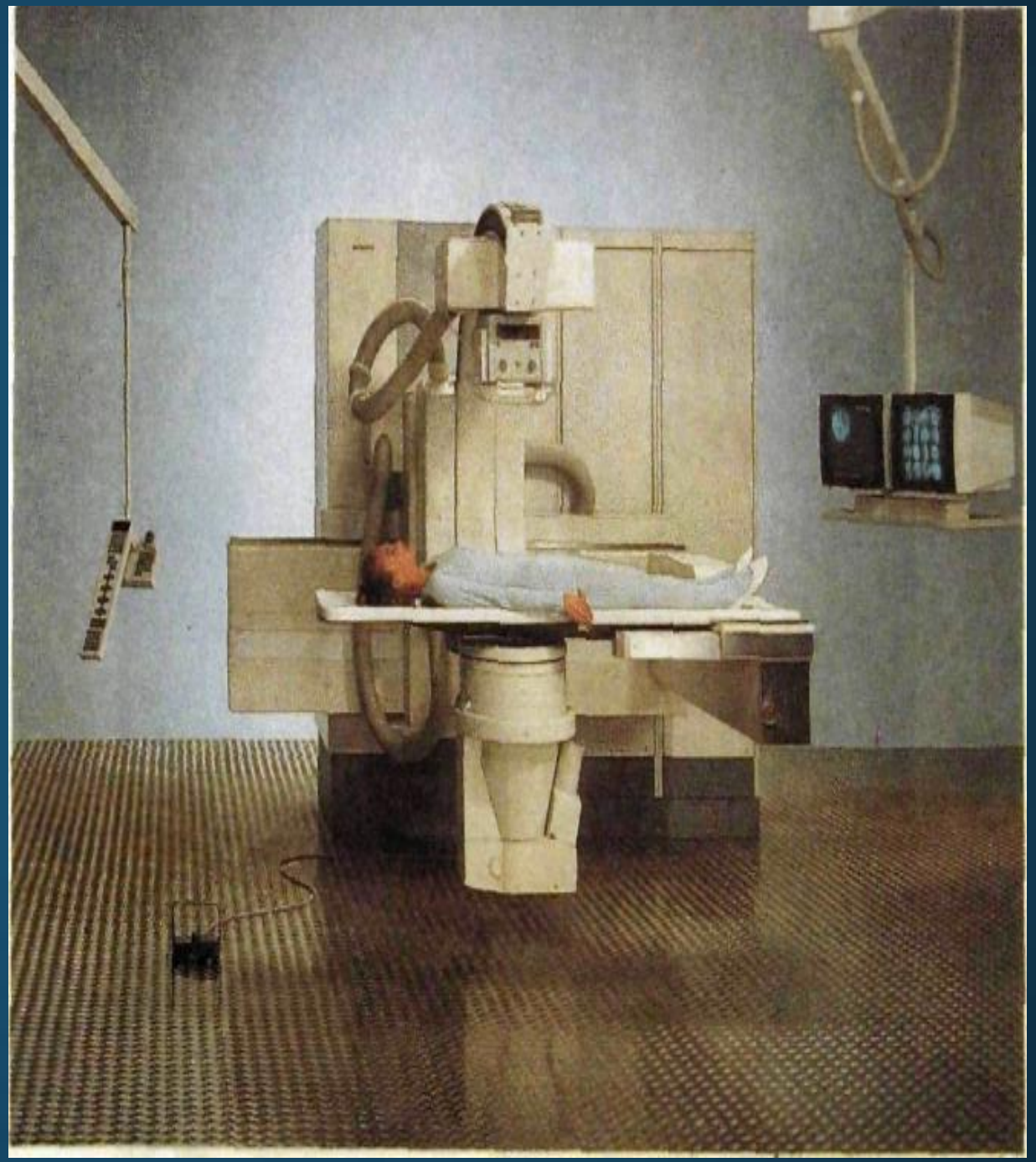
Energia fotonilor emiși este egală cu diferența de energie dintre nivelele electronice, fiind unică sau caracteristică pentru fiecare element chimic, radiația emisă fiind numită radiație caracteristică.



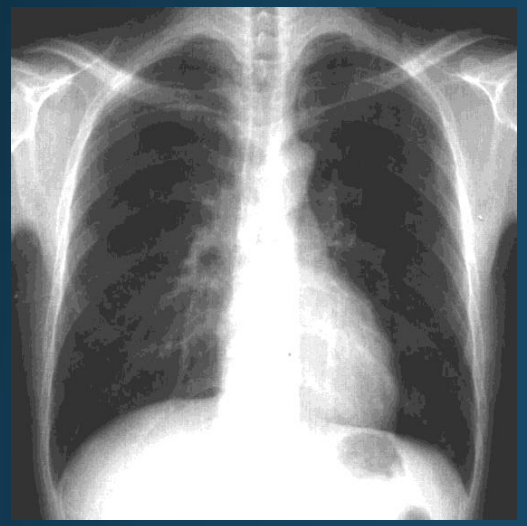
OBȚINEREA IMAGINII ÎN RADIOLOGIE

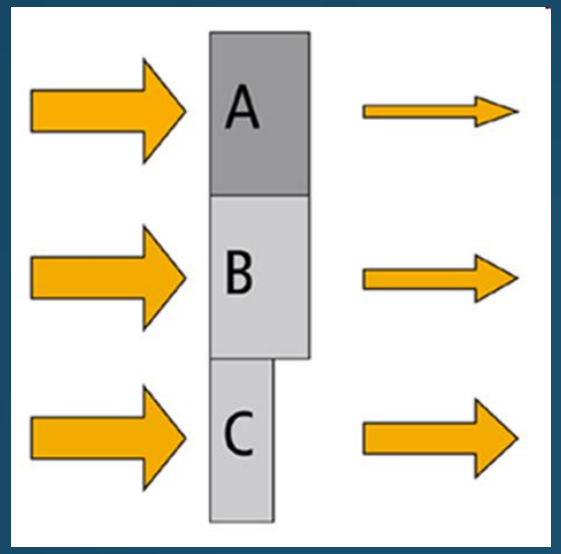
- Tubul radiologic
- Obiectul investigației
- Ecran (detectori)

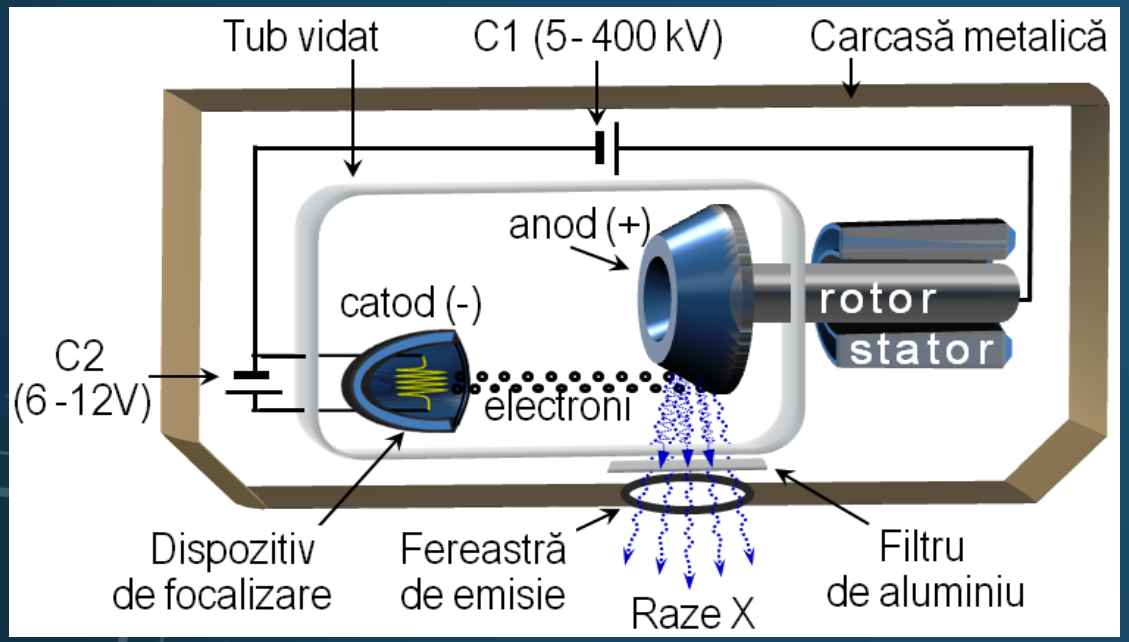




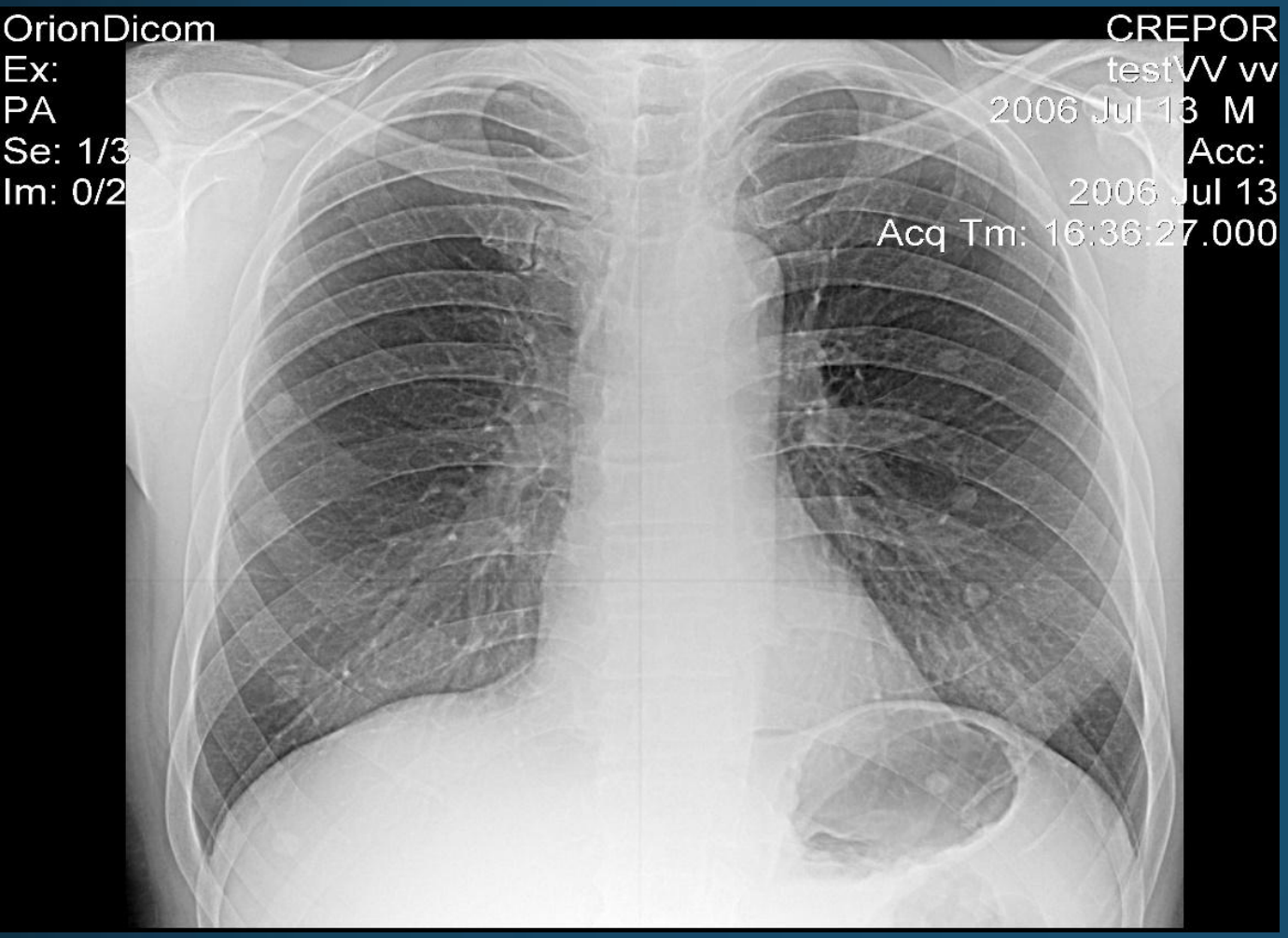
PROPRIETĂȚILE RAZELOR X

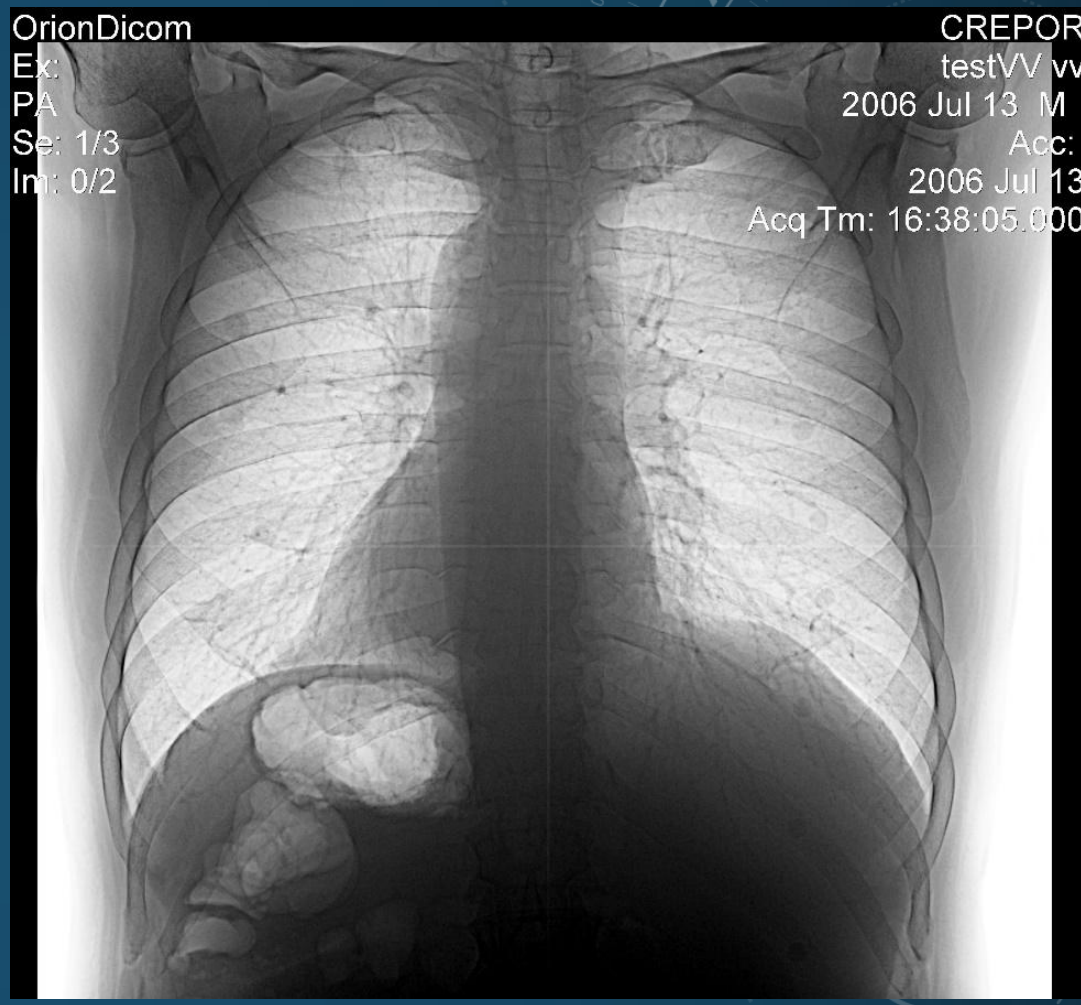






Comune pentru toate unde electromagnetice	Propagare rectilinie	
	Propagare cu viteza luminii (300 000 km/sec)	
	Propagare în toate direcţiile	
La traversarea corpului uman	Penetrabilitate, dependentă de frecvenţă (lungime de undă)	
	Absorbţia, dependentă de:	Densitatea structurii traversate
		Grosimea structurii traversate
	Dispersia	
Acţiunea chimică fotografică		
Efectul fluorescent		
Acţiunea ionizantă	În aer	
	La nivelul ţesuturilor biologice	Somatică
		Genetică
Nu pot fi detectate de către organe de simţ		


OrionDicom
Ex:
PA
Se: 1/3
Im: 0/2
CREPOR
testVV vv
2006 Jul 13 M
Acc:
2006 Jul 13
Acq Tm: 16:36:27.000


OrionDicom
Ex:
PA
Se: 1/3
Im: 0/2
CREPOR
testVV vv
2006 Jul 13 M
Acc:
2006 Jul 13
Acq Tm: 16:38:05.000

RADIAȚIILE X

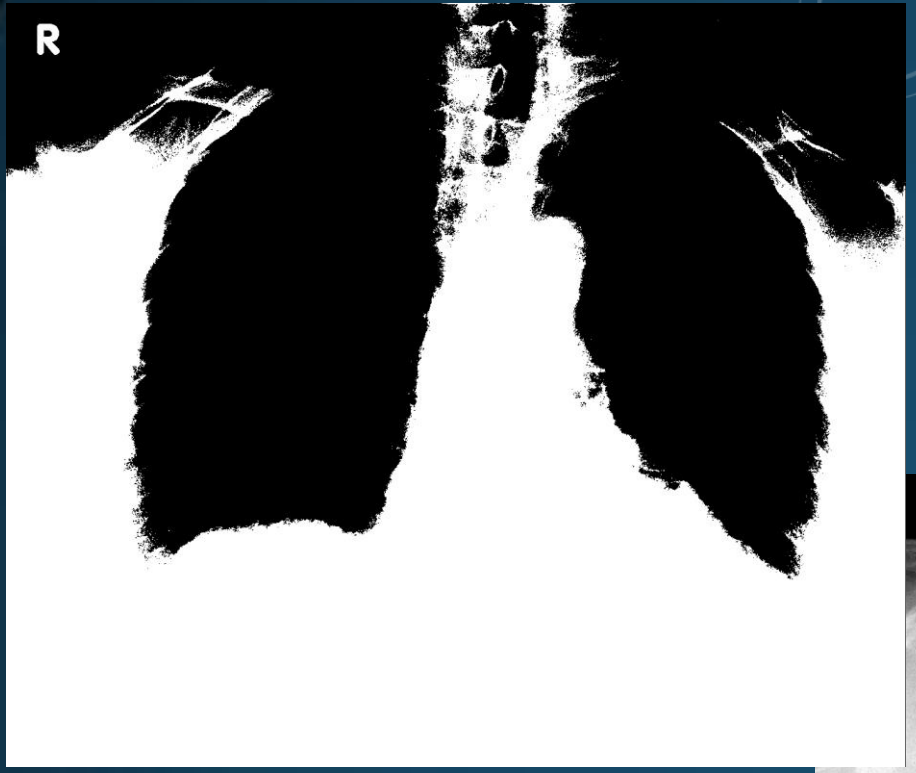
- Puterea de penetrare a razelor X este invers proporțională cu lungimea de undă. Cu cât lungimea de undă a razelor este mai mică (sau frecvența mai mare), cu atât puterea de penetrare a acestora este mai mare.

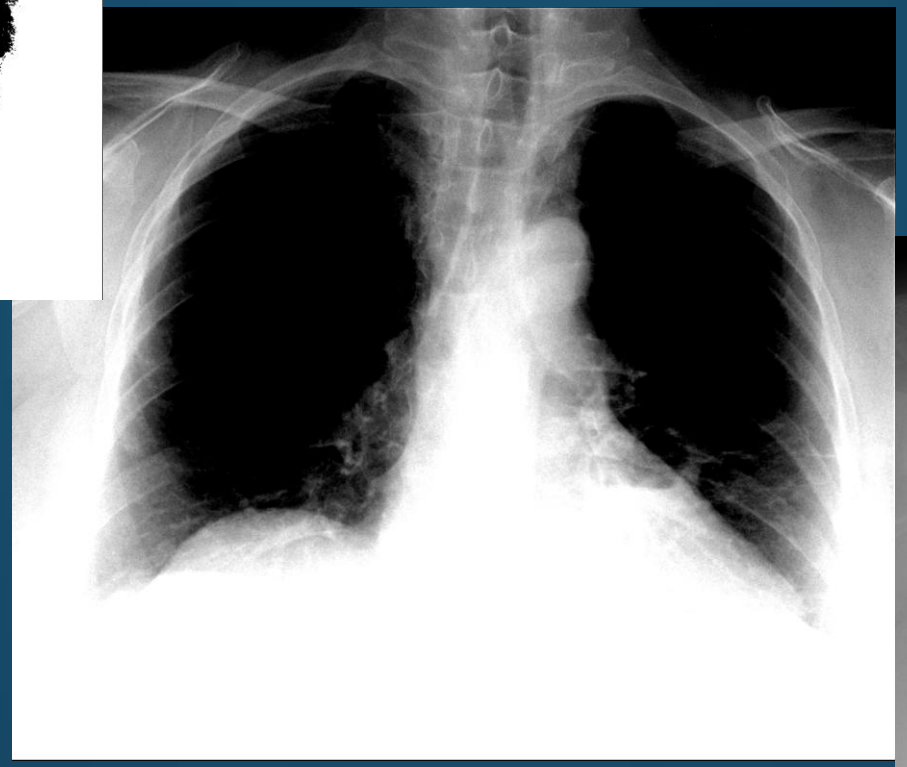
- **Raze X moi:** Razele X cu lungimi de undă mai mari, apropiate de banda razelor ultraviolete ($\lambda > 1$Å), sunt cunoscute sub denumirea de raze X moi, având energie și putere de penetrare redusă ($< 5 - 10$ keV).

- **Raze X dure:** Razele X cu lungimi de undă mai scurte, apropiate de banda radiațiilor gamma ($\lambda < 1$Å), se numesc raze X dure, având energie și putere de penetrare mai înaltă ($> 5 - 10$ keV).

CARACTERISTICILE IMAGINII RADIOLOGICE

Caracteristica	Semnificația
Contrast	Raportul între alb şi negru. Gradul de variație a nuanțelor de culoare între punctul cel mai întunecat și cel mai luminos al imaginii
Netitate (claritate)	Distingerea liniilor de contur ale imaginilor Contururile trebuie să apare: clare distincte precise, cu atât mai mult că uneori neclaritatea contururilor prezintă un semn patologic
Capacitate de rezoluţie	Distanța minimă între 2 obiecte clar vizibile (când aceste pot fi apreciate ca două diferite)


R



R

EFECTELE BIOLOGICE ALE RADIAȚIILOR X

- Prin excitările și ionizările produse, razele X pot afecta moleculele importante de ADN, ARN, proteine, lipide, hormoni, cauzând o serie de modificări în țesuturile biologice (efecte celulare, tisulare, somatice, feto-embrionare, genetice și cancerigene), care în funcție de doza de radiații absorbite pot varia de la efecte nesemnificative sau tranzitorii, mutații în celulele germinative și în cele somatice până la moartea celulei:

- efectele deterministice – sunt efecte biologice pe termen scurt determinate de un nivel de prag al dozei de radiație (de obicei, în urma unui incident specific) și se pot manifesta prin hiperemie sau arsuri ale tegumentelor, diverse grade ale sindromului acut de iradiere sau deces;
- efectele stocastice – sunt efecte biologice întârziate datorită expunerii cumulative la radiație, probabilitatea de apariție a cărora depinde de doza totală încasată într-o perioadă mai îndelungată și se manifestă de obicei prin creșterea riscului de cancer și boli ereditare;

EFECTE DETERMINISTICE

- Efectele deterministice apar la un timp relativ scurt (zile – săptămâni) după iradiere dacă aceasta depășește un anumit prag și crește în severitate odată cu creșterea ratei de expunere. În genere, efectele deterministice se caracterizează prin:
  - ✓ prag de apariție (de obicei o doză-prag de câțiva Gray);
  - ✓ severitatea efectelor crește odată cu creșterea dozei și ratei de expunere;
  - ✓ sunt relativ specifice în funcție de țesutul afectat și doza de radiație;
  - ✓ efectele se datorează necrozei unui număr de celule suficient de mare pentru a cauza disfuncționalitatea țesutului respectiv.

Efect deterministic	Doza absorbită (D)
Anomalii ale fătului	0,1 – 0,5 Gy
Leucopenie temporară	0,2 – 1 Gy
Grețuri, astenie, imunodepresie	1 – 2 Gy
Eritem cutanat (expunere locală)	2-3 Gy
Căderea părului (depilația după expunere locală)	2-5 Gy
Opacități în cristalin (după expunerea cristalinului)	0,5-2 Gy
Cataractă (la 1-10 ani de la expunerea cristalinului)	> 5 Gy
Boala acută de iradiere (iradierea întregului corp)	> 1-2 Gy
Comă, deces (iradierea întregului corp)	3-10 Gy

EFECTE STOCASTICE

- Efectele stocastice apar la un timp mai îndelungat după o perioadă de latență, care poate atinge câțiva ani sau chiar zeci de ani, și pot fi asociate cu apariția diverselor forme de cancer sau defecte ereditare (genetice) precum sindromul Down.
- Efectul mutațiilor produse nu depinde de doza inițială.
- Efectele stocastice au următoarele caracteristici:
  - ✓ nu au un prag de doză distinct, iar efectele pot să apară și la doze foarte mici;
  - ✓ celula iradiată nu este distrusă, ci doar modificată;
  - ✓ se datorează modificărilor ADN în celulele somatice sau în gameții sexuali;
  - ✓ probabilitatea de apariție a mutațiilor crește odată cu doza;
  - ✓ severitatea maladiilor apărute depinde de tipul mutației;
  - ✓ după producerea mutației, severitatea bolii este independentă de doza inițială a radiației care a cauzat mutația.

DOZIMETRIE

- Dozimetria este știința care se ocupă cu măsurarea dozelor și estimarea cantitativă a gradului de iradiere sub acțiunea radiațiilor ionizante.
- Iradierea organismului poate fi atât externă datorită radiațiilor cosmice și elementelor radioactive din mediul înconjurător, cât și internă datorită substanțelor radioactive inhalate sau ingerate, precum și celor administrate în scop diagnostic sau terapeutic.

UNITĂȚI DE MĂSURĂ PENTRU RADIAȚII IONIZANTE

Caracteristica. Nivelul aprecierii radioactivităţii.	**Unităţi vechi**	**Unităţi ale Sistemului internaţional**	**Corelarea unitatea veche/unitatea SI**
Radioactivitatea sursei	Curie (**Cu**)	Beckerel (**Bq**)	1Bq=0,027mCu
Aer (expunere la radiațiile ionizante), doza de expunere	Roentghen (**R**)	Coulomb/kilogram (**C/kg**)	500R=129mC/kg
Doza absorbită (pentru razele X)	**Rad** (Radiation Absorbed Dose)	Grey (**Gy**)	
Doza echivalentă (doza biologică) (independent de natura radiaţiei ionizante)	**Rem** (Rad Equivalent Man)	Sievert (**Sv**)	1Sv=100rem

DOZA ABSORBITĂ, DOZA BIOLOGICĂ, DOZA EFECTIVĂ

- **Doza absorbită (D)** reflectă energia absorbită într-o unitate de masă supusă iradierii și este exprimată în Gray (Gy), 1 Gray reprezentând 1 Joule de energie a radiației ce a fost absorbită de 1 kg de materie (1Gy = 1J/kg).
- **Doza biologică (H)** (nimută și echivalentul de doză sau **doza echivalentă**) reprezintă doza absorbită într-un țesut, ajustată la tipul radiației.

Doza biologică (H) = Doza absorbită (D) x Factor de pondere pentru tipul radiației (W_R)

- Doza biologică (echivalentă) este exprimată în Sievert (Sv), 1 Sievert reprezentând doza echivalentă cu 1 Gray pentru țesutul iradiat cu radiații ce au factorul de pondere egal cu 1.
- **Doza efectivă (E)** reprezintă doza biologică ajustată la radiosensibilitatea țesutului sau organului iradiat. Probabilitatea efectului biologic datorat unei anumite doze de radiație variază de la un organ sau țesut la altul.

Doza efectivă (E) = Doza biologică (H) x Factor de pondere tisulară (W_T)

Doza biologică (echivalentă) și factorul de pondere pentru diverse tipuri de radiație

Tipul radiației	Doza absorbită (D)	Factor de pondere (W_R)	Doza biologică (echivalentă) (H)
Raze X	1 Sv	1	1 Sv
Raze gamma	1 Sv	1	1 Sv
Particule beta	1 Sv	1	1 Sv
Neutroni termici	1 Sv	5	5 Sv
Neutroni rapizi	1 Sv	10	10 Sv
Particule alfa	1 Sv	20	20 Sv

Factorul de pondere tisular (W_T) utilizat pentru calculul dozei efective (E) în diverse țesuturi și organe conform datelor Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică (ICRP) publicate în 2007

Țesutul sau organul	W_T	Suma
Măduva roșie (1), Colon (2), Plămâni (3), Stomac (4), Sâni (5), Organe rămase* (6)	0,12	0,72
Gonade (1)	0,08	0,08
Vezica urinară (1), Esofag (2), Ficat (3), Glanda tiroidă (4)	0,04	0,16
Suprafața osoasă (1), Creier (2), Glande salivare (3), Tegumente (4)	0,01	0,04
Total		1

* Organele rămase includ glandele suprarenale, regiunea extratoracică, vezica biliară, inima, rinichii, nodulii limfatici, mușchii, mucoasa orală, pancreasul, prostata sau uterul cu regiunea cervicală, intestinul subțire, splina, timusul. Pentru iradierea sumară a acestor organe luate împreună este acordat un factor de pondere tisular = 0,12.

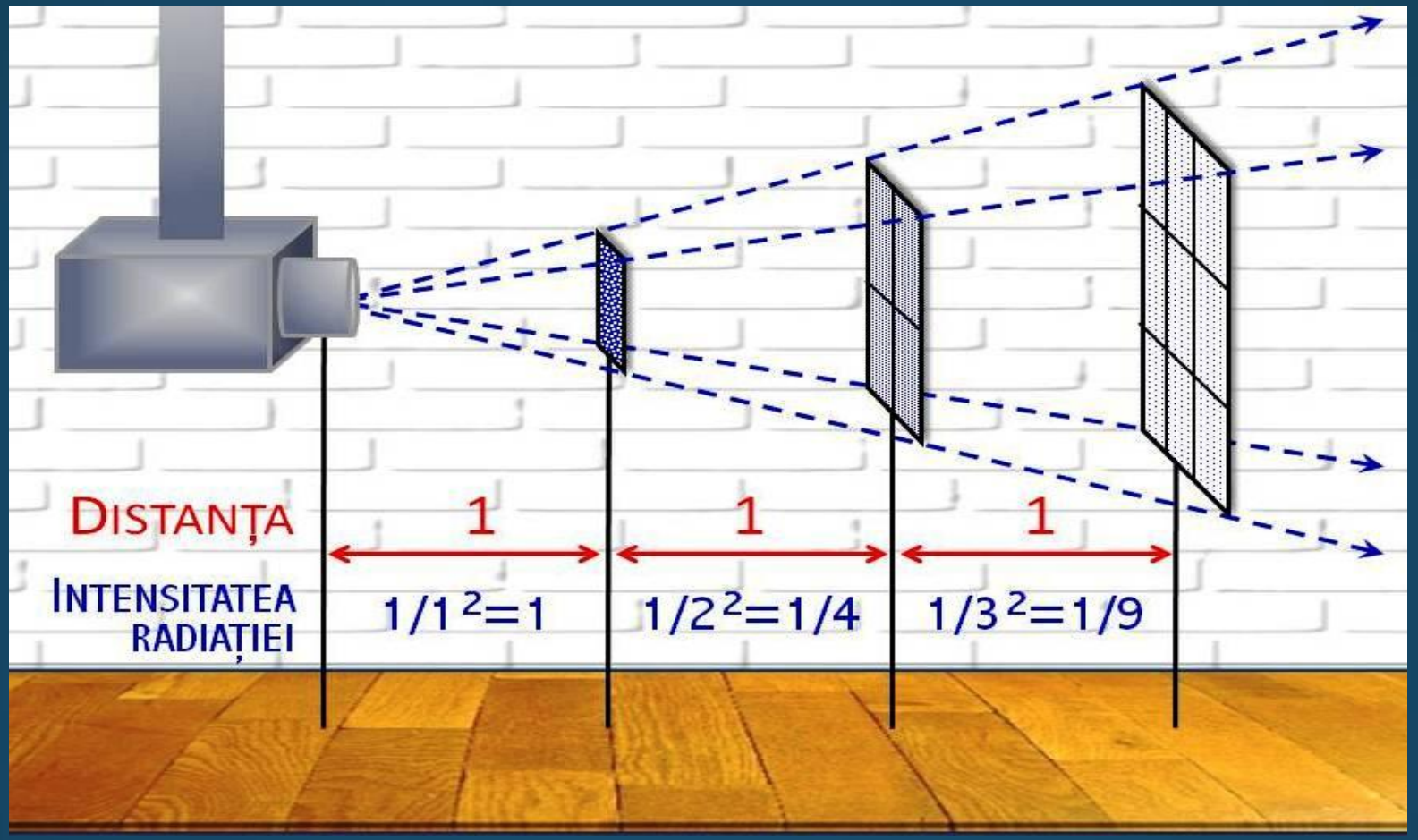
OBIECTIVELE RADIOPROTECȚIEI

- Prevenția efectelor deterministe
- Limitarea probabilității efectelor stocastice

RADIOPROTECȚIA

- Protecția fizică (mecanică) - include câteva elemente de bază ca:
  - ✓ reducerea timpului de expunere;
  - ✓ creșterea distanței față de sursă;
  - ✓ ecranarea surselor de radiație;
  - ✓ o serie de măsuri de organizare.
- Protecția chimică - se realizează prin administrarea înainte de iradiere a unor preparate chimice radioprotectoare, care măresc rezistența organismului la radiații.
- Protecția biologică - se realizează prin administrarea imediat după iradiere a unor preparate și macromolecule biologice precum sânge sau plasmă, care au potențial de refacere celulară. Unii pacienți pot necesita și transplant de celule viabile de măduvă roșie pentru restaurarea funcției hematopoietice.

DISTANȚA



Intensitatea fasciculului de raze X emis de o sursă punctiformă este invers proporțională cu pătratul distanței de la sursă (legea pătratului distanței).

Dacă distanța de la sursă crește de 2, 3, 4 ori – fasciculul se împrăștie pe o arie de 4, 9, 16 ori mai mare, intensitatea acestuia scăzând proporțional.

ECRANAREA

DIFERITE TIPURI DE DOZIMETRE INDIVIDUALE PENTRU MONITORIZAREA EXPUNERII EXTERNE

MĂSURI DE ORGANIZARE

- Măsurile de organizare includ o serie de mijloace de securitate în diverse domenii precum producerea și utilizarea substanțelor radioactive, eliminarea deșeurilor, planificarea și construcția încăperilor și departamentelor ce produc sau utilizează radiații ionizante, elaborarea și implementarea normativelor regulatorii în domeniu, utilizarea semnelor de avertizare de pericol de radiații, instructajul personalului etc.

- În funcție de nivelul radiației și potențialul expunerii, încăperile din zonele adiacente surselor de radiații ionizante pot fi desemnate ca zone supravegheate sau zone controlate:
  - ✓ zonele controlate reprezintă zonele cu o rată de expunere ce depășește 7,5 microSv pe oră (7,5 μSv/oră), sunt demarcate corespunzător, au accesul strict controlat și sunt supuse unor reguli special elaborate;
  - ✓ zonele supravegheate reprezintă zonele cu o rată de expunere între 2,5 și 7,5 microSv pe oră (2,5-7,5 μSv/oră), sunt demarcate corespunzător, au accesul limitat și sunt supuse unor reguli speciale pentru protecție contra radiațiilor sau prevenirea răspândirii contaminării radioactive.

MĂSURI DE ORGANIZARE

Semne de avertizare pentru pericol de radiații, precum și ale zonelor controlate și supravegheate.

PRINCIPII DE BAZĂ ÎN RADIOPROTECȚIE

Principii de bază de radioprotecție sunt implementate la nivel internațional. Acestea includ:

- Justificarea – utilizarea radiațiilor ionizante este justificată doar dacă beneficiile pentru persoane și societate sunt mai mari decât riscurile și efectele negative asupra sănătății pe care le pot avea. În consecință, toate aplicațiile radiațiilor ionizante necesită să fie justificate.
- Optimizarea – păstrarea la un nivel cât mai scăzut posibil a dozelor individuale de radiație și a numărului persoanelor expuse. Acest principiu mai este cunoscut și ca principiul ALARA (As Low As Reasonably Achievable, adică un nivel cât mai scăzut posibil păstrând limitele rezonabile).
- Limitarea dozelor – se referă la o serie de doze limită stabilite pentru expunerea profesională și cea a publicului. În situațiile de expunere planificată, suma dozelor de radiații ionizante la care este expusă o persoană sau echivalentul de doza individual nu trebuie să depășească limitele recomandate.