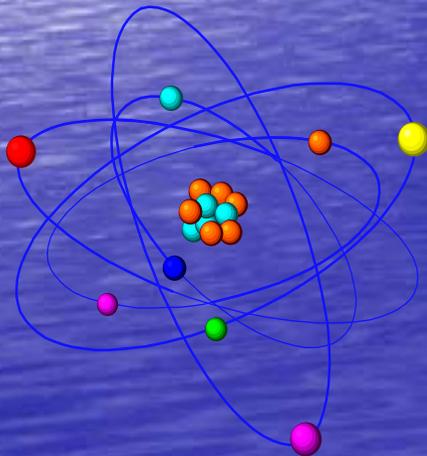


CORSO DI FORMAZIONE ASL AL 2010

Studio associato ECORAD



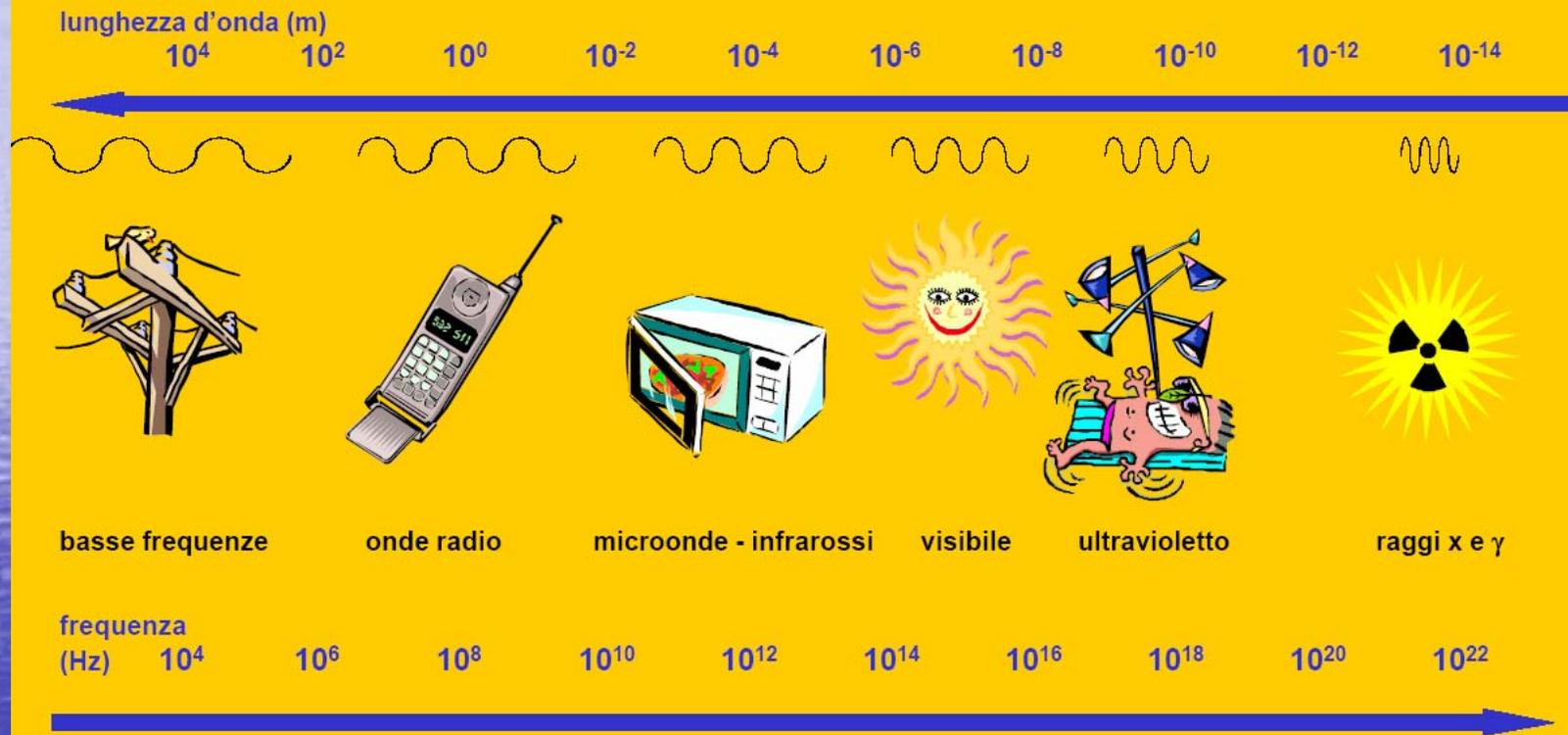
ECOLOGIA, RADIOPROTEZIONE,
PROGETTAZIONE INDUSTRIALE,
SICUREZZA SUL LAVORO,
IGIENE AMBIENTALE

Dott. Carlo Bergamaschi

I campi elettromagnetici

Negli ultimi anni è avvenuta una proliferazione senza precedenti, sia per numero che per tipologia, di sorgenti di campi elettrici e magnetici, usati per scopi individuali, industriali, commerciali, medici, etc. (attrezzature ed utensili elettrici, televisione, telefoni cellulari, radio, computer, radar, ecc). Tutte queste tecnologie hanno contribuito al miglioramento della qualità della vita per l'uomo, consentendo la realizzazione di molti servizi, in altri tempi impensabili.

RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE





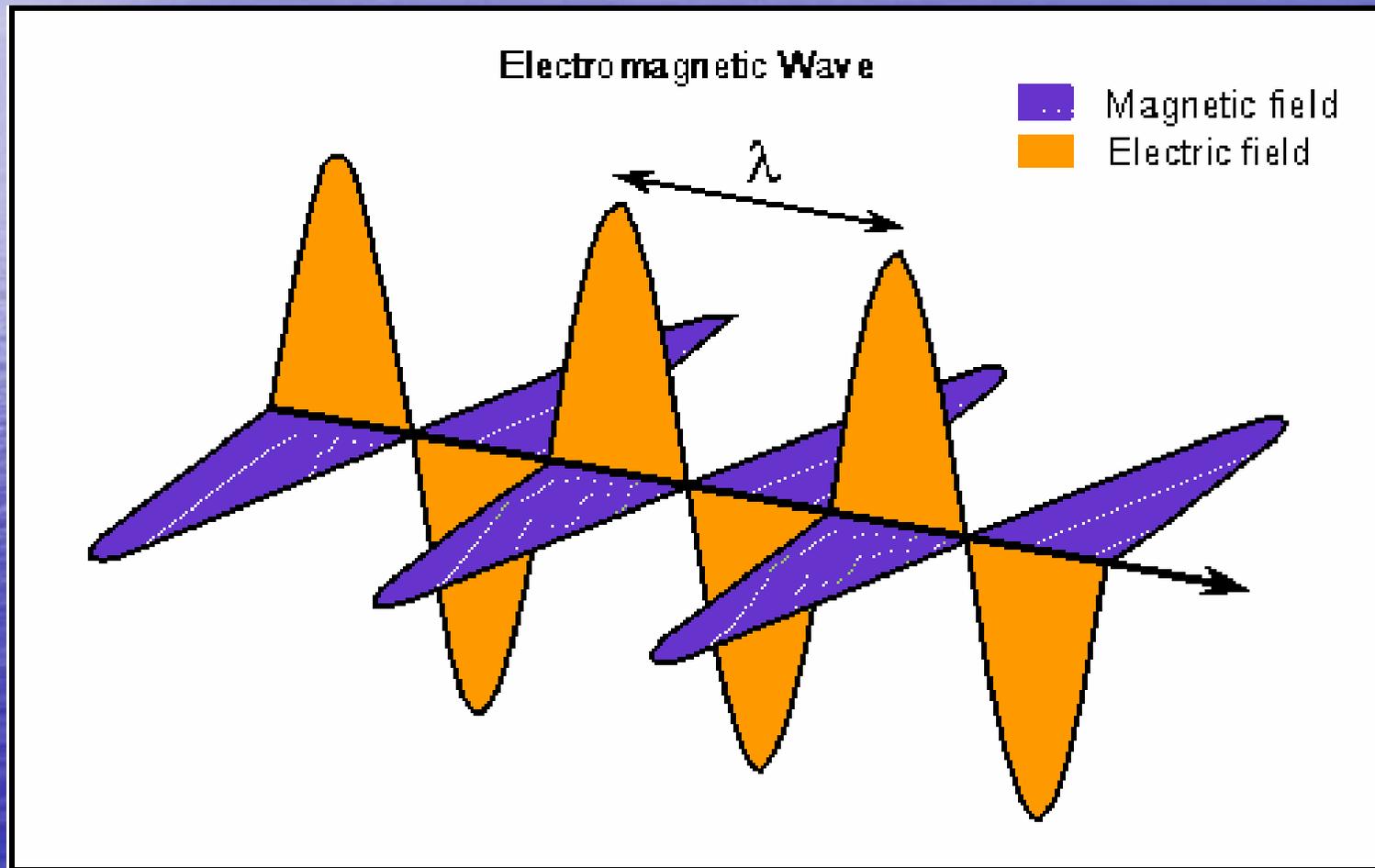
RADIAZIONI IONIZZANTI		Diagnostica a raggi X	
RADIAZIONI NON IONIZZANTI	FREQUENZE OTTICHE	UV	Sterilizzazione
		Vis	Laser
	Radiazione infrarossa	Lampade Sorgenti termiche Telecomandi	
FREQUENZE NON OTTICHE	Radiofrequenze	Microonde	Impianti radar Radarterapia Telefonia cellulare Forni a microonde Ponti radio
			Emissioni radiotelevisive Marconiterapia Radioamatori Saldatura e incollaggio Riscaldamento a induzione
	Basse frequenze	Metal detector Videoterminali Magnetoterapia Elettrodomestici Linee elettriche Linee telefoniche	
CAMPI STATICI		RMN Elettrolisi	

NIR

Non Ionizing Radiation

Il grande capitolo delle NIR, cioè di tutte quelle forme di radiazione elettromagnetica il cui meccanismo di interazione con la materia sia diverso dalla ionizzazione e che sono caratterizzate da fotoni di energia inferiore a 12 eV. Le NIR pertanto si estendono dall'ultravioletto fino ai campi elettromagnetici a bassissima frequenza (ELF = Extremely Low Frequencies); in effetti, per motivi pratici, vengono compresi nelle NIR anche i campi magnetici statici e gli ultrasuoni benché si tratti quest'ultimo caso di onde meccaniche e non elettromagnetiche.

La radiazione elettromagnetica

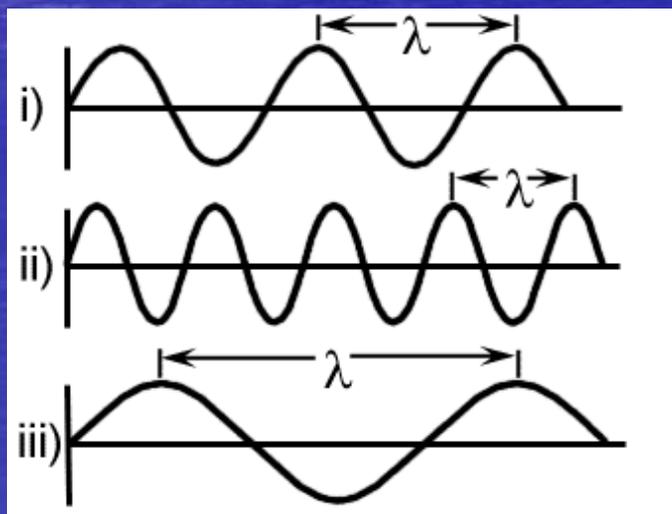


Semplificando al massimo, possiamo dire quanto segue:

- Il campo elettromagnetico è una forma di energia che può permeare lo spazio (anche vuoto) e può propagarsi in esso.
- Lo sviluppo tecnologico ha permesso di realizzare dispositivi in grado di generare campi elettromagnetici, di impiegarli in svariate applicazioni tra cui, prima fra tutte, la possibilità di inviarli nello spazio in modo controllato, utilizzandoli quale veicolo di trasporto di informazione, di riceverli e rivelarne la presenza nonché estrarne l'informazione trasportata ed infine di misurare i parametri caratteristici.

Caratteristiche della radiazione elettromagnetica

- Lunghezza d'onda (λ): distanza tra due massimi o due minimi di un'onda
- Frequenza (n): numero di onde complete che passano per un punto nell'unità di tempo
- Periodo (T): tempo necessario affinché un'onda completa passi per un punto



Caratteristiche della radiazione elettromagnetica

- $U = c/\lambda$

c = velocità della luce nel vuoto (3×10^8 m s⁻¹)

E = energia del singolo fotone

$$E = h U$$

h = costante di Plank (6.3×10^{-34} J * s⁻¹)

- Le **onde elettromagnetiche** costituiscono una delle modalità più comuni ed importanti di propagazione del campo elettromagnetico. Esse sono caratterizzate dalla **intensità** (legata all'ampiezza dell'onda), dalla **frequenza** (numero di cicli d'onda completi che si susseguono nell'unità di tempo) e dalla **lunghezza d'onda** (distanza nello spazio tra due successive creste d'onda).
- Frequenza e lunghezza d'onda sono inversamente proporzionali, poiché la lunghezza d'onda non è altro che lo spazio percorso dall'onda in un tempo pari all'*inverso* della frequenza.

Il campo elettrico

- Le onde elettromagnetiche sono un fenomeno fisico attraverso il quale l'energia elettromagnetica può trasferirsi da un luogo all'altro per propagazione.
- Il **campo elettrico E** si definisce come una proprietà o perturbazione dello spazio, prodotta dalla presenza di cariche elettriche, positive o negative. Si misura in Volt per metro (V/m).
- Qualsiasi conduttore elettrico produce un campo elettrico associato, che esiste anche quando nel conduttore non scorre alcuna corrente. Più alta è la tensione, più intenso è il campo ad una certa distanza dal conduttore; mentre per una data tensione l'intensità diminuisce al crescere della distanza.

Il campo magnetico

- Il **campo magnetico H** può essere definito come una proprietà o perturbazione dello spazio prodotta dal movimento delle cariche elettriche ossia dalla presenza di correnti elettriche oppure da magneti permanenti (calamite).
- L'intensità del campo magnetico si esprime in Ampère per metro (A/m), anche se solitamente si preferisce riferirsi ad una grandezza correlata, la densità di flusso magnetico o induzione magnetica B, misurata in microtesla (μT). Tra le due unità di misura vale la seguente relazione: $1 \text{ A/m} = 1,257 \mu\text{T}$; $1 \mu\text{T} = 0,795 \text{ A/m}$
- **Il campo magnetico viene generato soltanto quando viene acceso un apparecchio elettrico e quindi scorre corrente.** La sua intensità dipende proporzionalmente dall'intensità della corrente elettrica.
- **I campi magnetici sono più intensi in prossimità della sorgente e diminuiscono rapidamente all'aumentare della distanza, inoltre non sono schermati dai materiali comuni, come le pareti degli edifici.**

Condizioni di campo vicino o lontano

- Un campo elettrico variabile nel tempo genera, in direzione perpendicolare a se stesso, un campo magnetico, anch'esso variabile, che a sua volta influisce sul campo elettrico stesso.
 - *Questi campi concatenati determinano nello spazio la propagazione di un campo elettromagnetico, indipendentemente dalle cariche e correnti elettriche che li hanno generati*
- ⇒ In prossimità della sorgente irradiante, cioè **in condizioni di campo vicino**, il campo elettrico ed il campo magnetico assumono rapporti variabili con la distanza e possono essere considerati separatamente
- ⇒ Ad una certa distanza, cioè **in condizioni di campo lontano**, il rapporto tra campo elettrico e campo magnetico rimane costante: in condizioni di campo lontano i due campi sono in fase, ortogonali tra loro e trasversali rispetto alla direzione di propagazione (onda elettromagnetica piana)

La frequenza

- condiziona tutti gli aspetti teorici e tecnologici connessi con l'elettromagnetismo: le tecniche per generare campi elettromagnetici, i sistemi per rivelarli e misurarli, le modalità con cui essi si propagano ed interagiscono con la materia (e quindi con gli organismi biologici). Per questo motivo, anche gli effetti biologici dei campi elettromagnetici dipendono profondamente dalla frequenza, al punto che un campo elettrico di fissata intensità può essere pressoché insignificante o assai pericoloso, a seconda della sua frequenza: ciò spiega perché le norme di sicurezza specifichino sempre limiti massimi notevolmente variabili con la frequenza. Due sono gli aspetti significativi di questa questione.

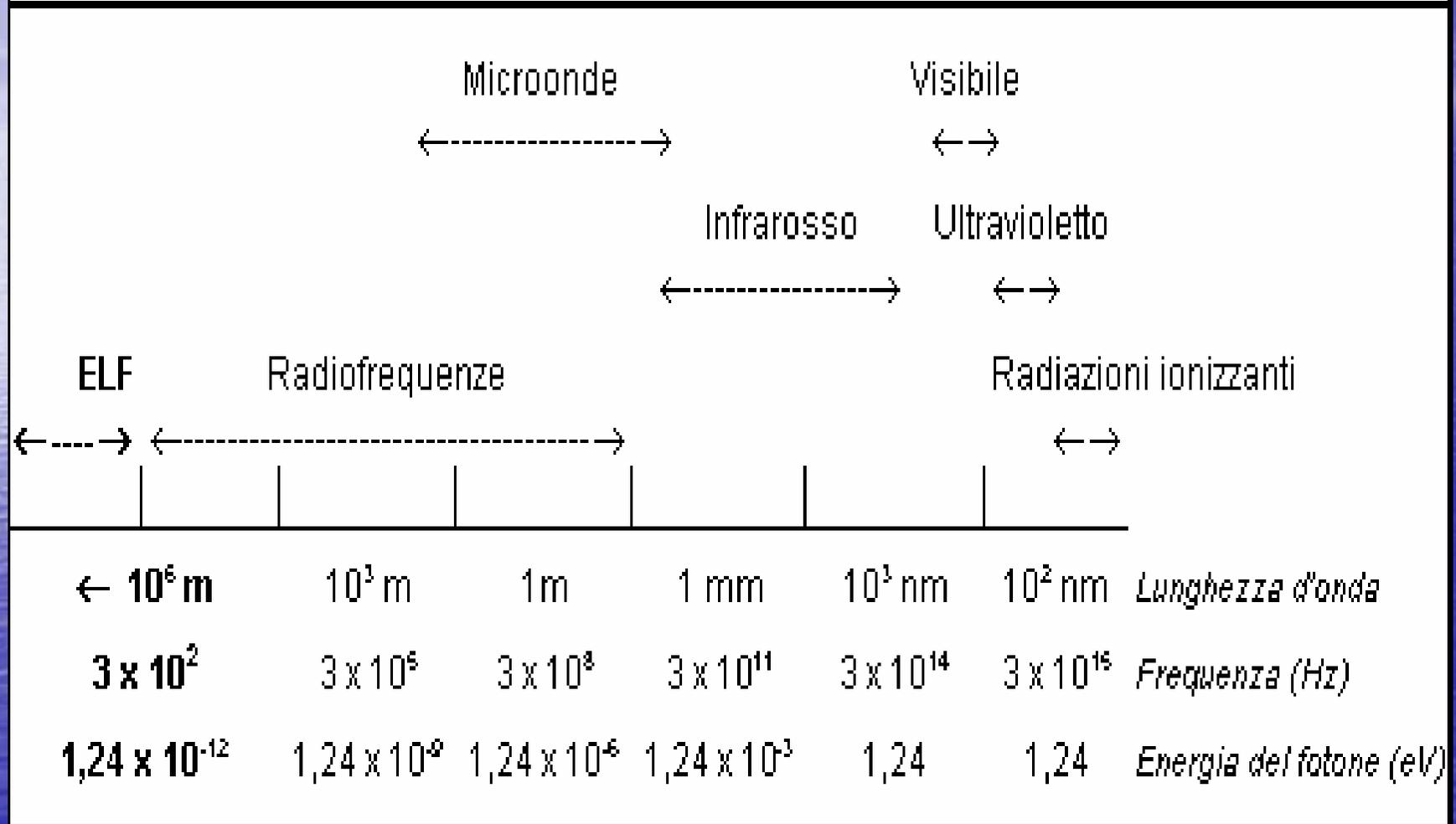
L'intensità

- della radiazione indica l'effettiva ampiezza del campo e quindi delle forze che esso può esercitare. Essa rappresenta anche la quantità di energia trasportata per unità di tempo e di superficie ortogonale alla direzione di propagazione. Qualunque fenomeno di interazione si studi, esso - se si verifica - è normalmente tanto più evidente quanto più la radiazione è intensa.

La densità di potenza

- L'energia elettromagnetica trasportata dall'onda nell'unità di tempo per unità di superficie si definisce **densità di potenza S** e si esprime in Watt su metro quadro (W/m^2).
Maggiore è la frequenza, maggiore è l'energia trasportata dall'onda.
- Quando un'onda elettromagnetica incontra un ostacolo penetra nella materia e deposita la propria energia producendo una serie di effetti diversi a seconda della sua frequenza.
Dai meccanismi di interazione delle radiazioni con la materia dipendono
 - *gli effetti e quindi i rischi potenziali per la salute umana.*
- L'insieme di tutte le possibili onde elettromagnetiche, in funzione della frequenza e della lunghezza d'onda, costituisce lo spettro elettromagnetico. Nello spettro elettromagnetico si possono distinguere due grandi zone.

SPETTRO ELETTRROMAGNETICO



PRINCIPALI GRANDEZZE FISICHE E UNITA' DI MISURA

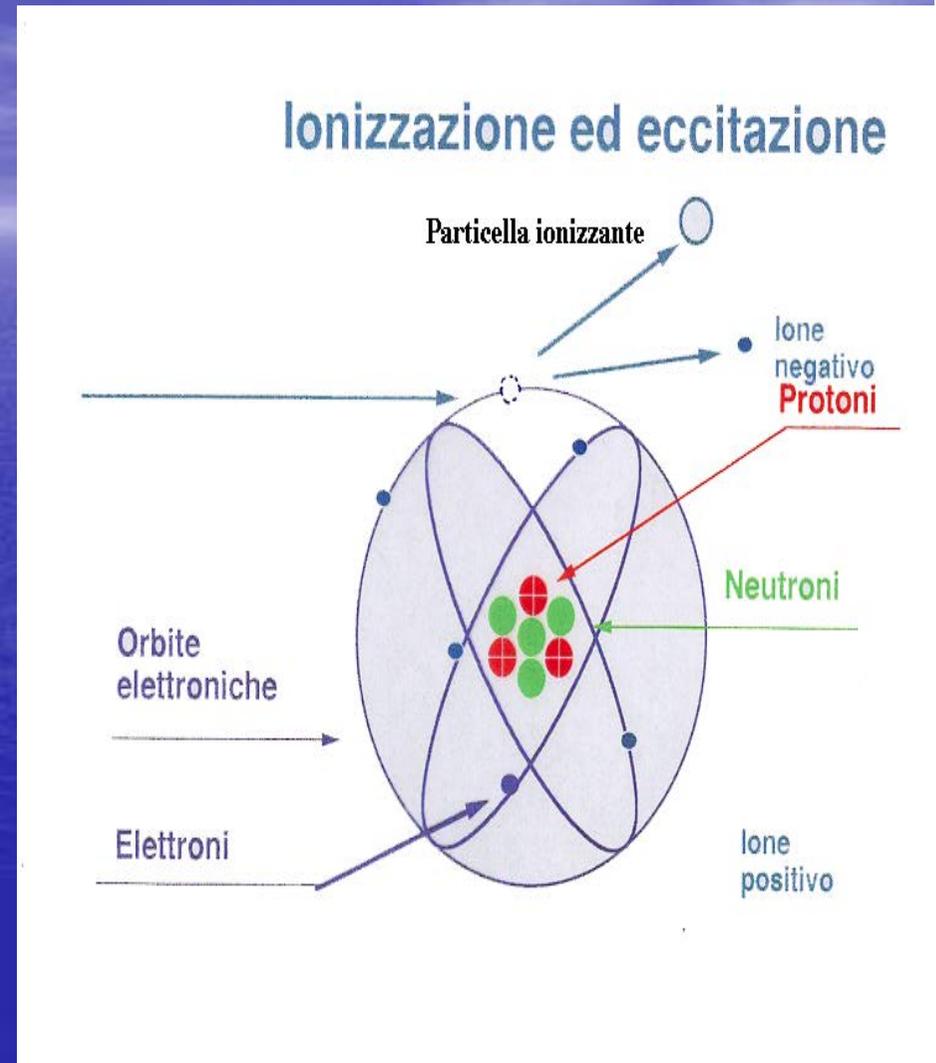
<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Simbolo</i>
Frequenza	f	Hertz	Hz
Lunghezza d'onda	λ	Metro	m
Intensità di campo elettrico	E	Volt per metro	V/m
Intensità di campo magnetico	H	Ampere per metro	A/m
Densità di potenza	S	Watt per metro quadrato	W/m ²
Assorbimento specifico	SA	Joule per kilogrammo	J/kg
Tasso di assorbimento specifico	SAR	Watt per chilogrammo	W/kg
Densità di corrente	J	Ampere per metro quadrato	A/m ²
Densità di energia		Joule per metro quadrato	J/m ²

Costanti fisiche

Costante fisica	Simbolo	Valore
Velocità della luce	c	$2,997 \cdot 10^8$ m/s
Costante dielettrica del vuoto	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m
Permeabilità magnetica del vuoto	μ_0	$12,56 \cdot 10^{-7}$ H/m
Impedenza caratteristica del vuoto	η	377Ω

Dualismo onda/corpuscolo - Radiazioni ionizzanti e non

–A seconda dei fenomeni studiati, la radiazione elettromagnetica può essere convenientemente descritta in termini **ondulatori** oppure **corpuscolari**. Nella descrizione corpuscolare, la frequenza costituisce una misura dell'energia trasportata da ogni singolo corpuscolo (detto **fotone**), in base alla nota relazione secondo la quale l'energia di ogni fotone è pari al prodotto della frequenza per la *costante di Planck* (il cui valore è $6,63 \cdot 10^{-34}$ joule.secondo) mentre ovviamente l'intensità è legata anche al numero di fotoni che transitano per unità di tempo attraverso l'unità di superficie ortogonale alla direzione di propagazione.



Radiazioni elettromagnetiche ionizzanti

Si definiscono radiazioni elettromagnetiche ionizzanti quelle radiazioni in grado di ionizzare direttamente la materia **qualunque sia la loro intensità**. La ionizzazione è un tipico fenomeno corpuscolare, poiché consiste nell'assorbimento di un fotone da parte di un elettrone esterno di un atomo: l'elettrone acquisisce l'energia del fotone e, se questa è sufficiente (cioè se la frequenza della radiazione è abbastanza alta), abbandona l'atomo a cui appartiene, vincendone la forza elettrostatica che lo lega al nucleo. La ionizzazione, quando avviene (cioè se la frequenza è sufficiente), avviene **per qualunque intensità**: quello che cambia con l'intensità della radiazione è solo *il numero di atomi che subiranno il processo*, rapportato all'unità di tempo e di superficie esposta.

Nella tabella che segue sono riportate le energie necessarie per ionizzare alcuni tipi di atomi, dal cesio (che è il più disponibile a farsi strappare elettroni) all'elio (che invece è tra i meno disponibili), passando per i tipici componenti del materiale organico.

Atomo	Energia di ionizzazione	Lunghezza d'onda equivalente
Cesio	3,9 eV	318 nm
Carbonio	11,3 eV	110 nm
Idrogeno	13,6eV	91 nm
Ossigeno	13,6 eV	91 nm
Azoto	14,5 eV	86 nm
Elio	24,6 eV	50 nm

Come si vede, la banda di radiazione interessata è sempre quella degli **ultravioletti**, che occupano l'intervallo di lunghezza d'onda compreso grossomodo tra 10 e 400 nm (1 nm è pari a un miliardesimo di metro). I campi elettromagnetici di cui ci occupiamo in questo documento rientrano pertanto tutti nell'ambito delle **radiazioni NON ionizzanti**, per le quali si farà nel seguito riferimento esclusivamente alla trattazione **ondulatoria**.

Il campo elettrico

è la grandezza fisica attraverso la quale descriviamo una regione di spazio le cui proprietà sono perturbate dalla presenza di una distribuzione di carica elettrica. Il modo più evidente con cui questa perturbazione si manifesta è attraverso la forza che viene sperimentata da una qualunque altra carica introdotta nel campo stesso. Il campo elettrico viene descritto mediante un vettore \underline{E} (detto *vettore campo elettrico*, o semplicemente *campo elettrico*) che in ogni punto della regione di spazio indica la direzione, l'intensità ed il verso della forza che agisce su una carica puntiforme unitaria positiva che venga posta in quel punto; l'intensità del campo elettrico si misura in volt al metro (V/m). Grazie alla forza che esercita sulle cariche, il campo elettrico è in grado di provocare *correnti elettriche* nei materiali *conduttori*.

Campo magnetico

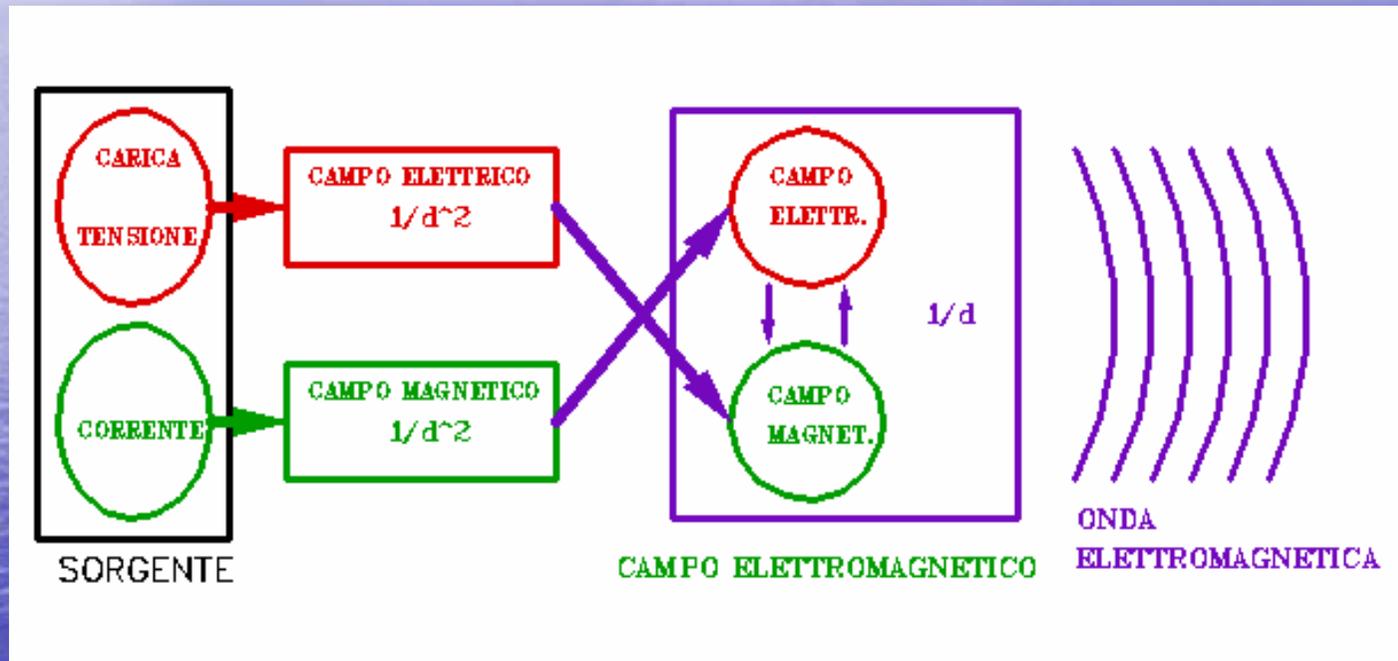
Descriviamo la perturbazione delle proprietà dello spazio determinata dalla presenza di una distribuzione di corrente elettrica, perturbazione che si manifesta con una forza che agisce su qualunque altra corrente elettrica introdotta nel campo. Il campo magnetico può essere descritto mediante un vettore \underline{B} (detto *densità di flusso magnetico*, o anche *induzione magnetica*) definito in maniera un po' complessa, ma in ogni caso riconducibile alla forza che in ogni punto della regione di spazio si manifesta su una corrente elementare che venga posta in quel punto; l'intensità dell'induzione magnetica si misura in tesla (T).

Campo magnetico

- Una delle caratteristiche più importanti del campo magnetico **variabile nel tempo**, almeno dal punto di vista sia della misura sia dell'interazione con organismi biologici, consiste nella sua capacità di provocare *correnti elettriche* all'interno di oggetti conduttori dove in assenza di campo esse non erano presenti.

Se tutto finisse qui, non esisterebbero né campo elettromagnetico né onde elettromagnetiche. Invece, risulta che un campo elettrico può essere generato, oltre che da una distribuzione di carica elettrica, anche da un campo magnetico **variabile nel tempo**; analogamente, un campo magnetico può essere generato, oltre che da una distribuzione di corrente elettrica, anche da un campo elettrico **variabile nel tempo**. In altre parole, quando si è in regime variabile nel tempo, campo elettrico e campo magnetico *divengono uno la sorgente (cioè la "causa") dell'altro*.

Grazie a questa interdipendenza, il campo elettrico ed il campo magnetico possono in quel caso essere considerati come due aspetti di un'unica grandezza fisica (il **campo elettromagnetico**) in grado di propagarsi a distanza indefinita dalla sorgente, un fenomeno indicato anche col termine **radiazione elettromagnetica**. In molti casi importanti, risulta che l'ampiezza del campo elettromagnetico radiato varia in modo oscillatorio sinusoidale tanto nel tempo quanto nello spazio: si parla allora di **onda elettromagnetica**.



Una analisi della struttura del campo in funzione della distanza dalla sorgente mostra che in prossimità prevalgono il **campo elettrico** ed il **campo magnetico** prodotti dalle sorgenti materiali presenti su di essa, mentre per distanze maggiori di circa una lunghezza d'onda diviene prevalente il **campo elettromagnetico** dovuto alla mutua generazione, cioè alla **radiazione**.

I CAMPI MAGNETICI STATICI

Un campo magnetostatico è un campo elettromagnetico creato da correnti elettriche invariabili nel tempo siano esse macroscopiche o microscopiche; le prime sono le correnti di conduzione nei comuni circuiti elettrici, le seconde sono costituite dal moto degli elettroni su traiettorie chiuse attorno ai nuclei atomici, cui sono associati i momenti magnetici degli elettroni nel lattice atomico che sono alla base del comportamento dei magneti permanenti.



I MAGNETI PERMANENTI

Potremo descrivere qualitativamente un magnete permanente come un materiale ferromagnetico nel quale i momenti magnetici suddetti si allineano spontaneamente e si raggruppano in regioni interne al materiale, chiamate "domini", con orientamento a caso della magnetizzazione di modo che il campo risultante all'esterno è mediamente nullo.

Collocando tale materiale in un campo magnetico esterno di adeguata intensità quei "domini", orientati casualmente e spontaneamente magnetizzati, mantengono la loro intensità di magnetizzazione, ma si orientano nella direzione del campo esterno applicato.



Rimuovendo il campo magnetico applicato, apparirà all'esterno del materiale un campo di intensità inferiore in grado di mantenere un "magnetismo permanente".

I campi magnetici, prodotti dal movimento nello spazio delle cariche elettriche (corrente elettrica), possono esercitare forze fisiche su cariche elettriche, ma solo quando tali cariche sono in moto. Un campo magnetico può essere rappresentato come un vettore e può essere specificato in due modi, o attraverso l'intensità dell'induzione magnetica B , o come intensità del campo magnetico H . B ed H sono espressi rispettivamente in Tesla (T) ed in ampere al metro (A/m); nel vuoto ed in aria B ed H sono collegati dalla relazione: $B = \mu_0 H$. La costante di proporzionalità è chiamata permeabilità magnetica del vuoto ed ha come valore numerico $4\pi \times 10^{-7}$ ed è espresso in henry al metro (H/m). Quindi, per descrivere un campo magnetico in aria, o in materiali non magnetici (comprese le sostanze biologiche), è sufficiente specificare soltanto una delle grandezze fisiche B o H . Normalmente i limiti di esposizione sono dati in termini di induzione magnetica (B).

La forza di Lorentz è l'intensità della forza F che agisce su una carica elettrica q in moto con velocità v in direzione perpendicolare all'induzione magnetica B ed è data dall'espressione: $F = q v B$; la direzione della forza è determinata dal prodotto vettoriale della velocità della carica per l'induzione magnetica ed è perciò sempre perpendicolare alla direzione del flusso delle cariche elettriche. Pertanto, l'interazione di un campo magnetico con una carica elettrica darà sempre luogo ad un cambio di direzione del suo moto ma mai ad una variazione della sua velocità. Il campo magnetico non compie quindi lavoro, ma può facilitare la trasformazione di una forma di energia in un'altra.

L'induzione magnetica è accettata come la grandezza fisica più significativa per esprimere gli effetti del campo magnetico. Il flusso magnetico attraverso una data area è il prodotto dell'area stessa per la componente del vettore induzione magnetica perpendicolare alla sua superficie.

(simbolo Φ); $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \times \text{m}^2$

I - Effetti sull'uomo

I tre meccanismi fisici accertati attraverso cui i campi magnetici statici interagiscono con la materia vivente sono i seguenti.

I - Induzione magnetica

Questo meccanismo ha origine dai seguenti tipi di interazione:

a) *Interazioni elettrodinamiche con elettroliti in movimento.* I campi statici esercitano forze di Lorentz sui portatori di cariche ioniche in moto e danno quindi luogo a campi elettrici e correnti indotte. Questa interazione è alla base dei potenziali indotti magneticamente nel flusso sanguigno in particolare nei grossi vasi.

b) *Correnti di Faraday.* I campi magnetici variabili inducono correnti nei tessuti viventi, secondo la legge di induzione di Faraday. Questo meccanismo può agire anche nel caso di campi statici, a causa dei movimenti degli individui in aree in cui è presente questo tipo di campi.

II - Effetti magnetomeccanici

I due tipi di effetti meccanici che un campo magnetico statico esercita sui sistemi biologici sono:

a) *Magnetoorientamento*. In un campo statico uniforme, sia le molecole diamagnetiche che quelle paramagnetiche subiscono una torsione che tende ad orientarle secondo una configurazione che minimizzi la loro energia libera entro il campo. Questa classe di macromolecole comprende i fotopigmenti dei bastoncelli della retina e gli eritrociti falciformi. In particolare, meritano considerazione i rischi per i soggetti affetti da anemia falciforme a causa dell'incidenza relativamente alta di questa patologia.

b) *Traslazione magnetomeccanica*. I campi magnetici statici producono sui materiali paramagnetici e ferromagnetici una forza che dà luogo a moti traslatori. A causa della scarsa quantità di sostanze magnetiche presenti nella maggior parte degli esseri viventi, l'influenza di questo effetto sulle funzioni biologiche è trascurabile.

III - Interazioni elettroniche

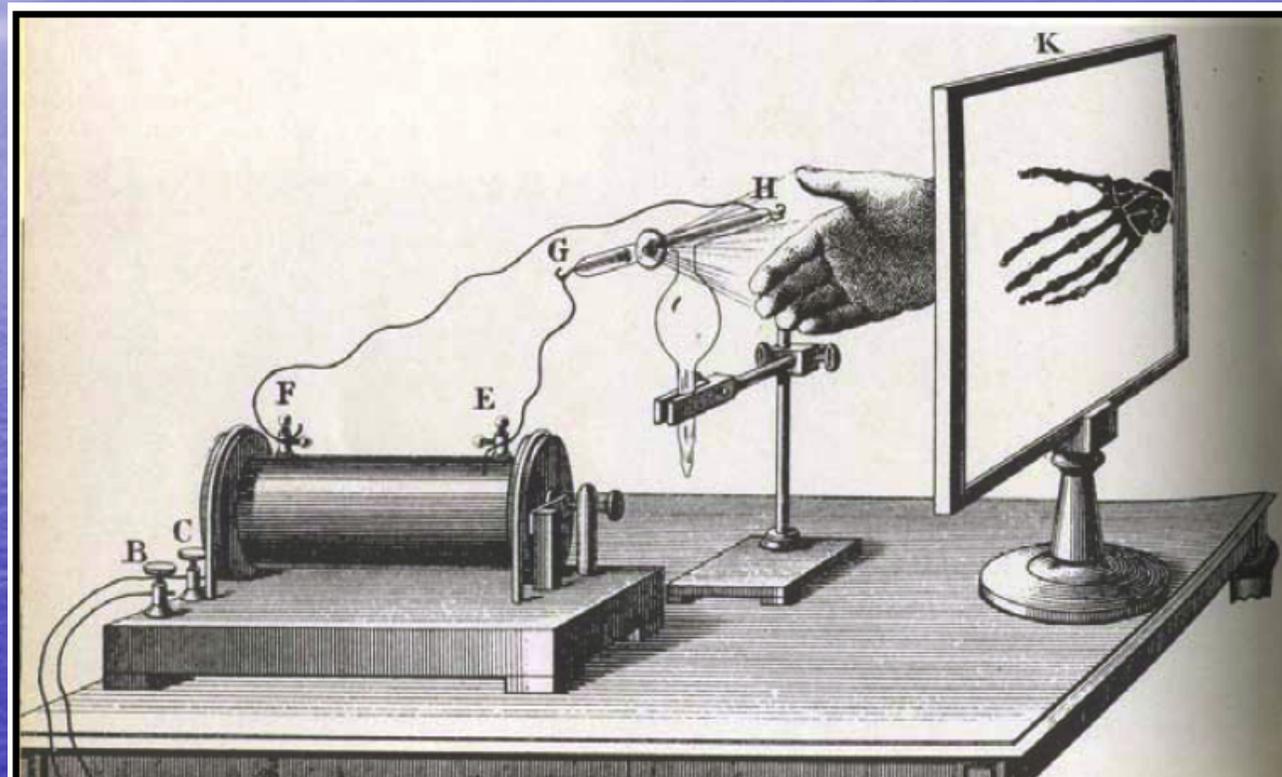
E' probabile che l'interazione con il campo magnetico eserciti solo una piccola, e forse trascurabile, influenza sul rendimento di una reazione chimica.

E' opportuno distinguere tra l'esposizione dei lavoratori e quella della popolazione in generale. Quest'ultima categoria è composta di persone di tutte le età e condizioni di salute e può non essere consapevole degli effetti dell'esposizione ai campi magnetici, mentre i lavoratori possono essere addestrati ed informati adeguatamente.

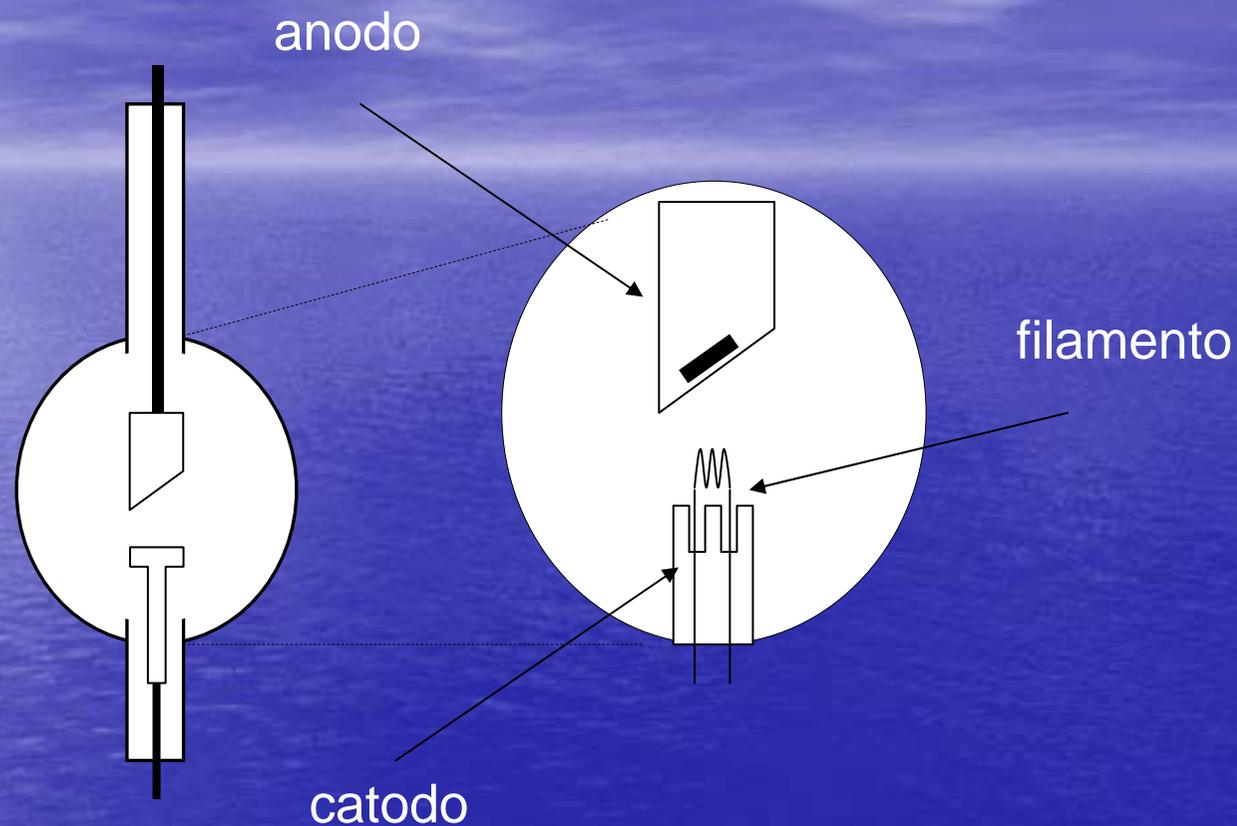
Alcuni risultati epidemiologici inducono a considerare la possibilità di altri effetti sulla salute, inclusa la cancerogenesi, derivanti dall'esposizione a campi di livello molto inferiore a quelli stabiliti da varie normative. Studi più recenti effettuati da vari organismi internazionali, negli anni 1991 - 1996, tendono ad escludere questa correlazione.

Se per quanto riguarda gli effetti immediati, o acuti, un'enorme mole di lavori indica quindi una sostanziale assenza di effetti di danno alla salute, anche nelle più sfavorevoli condizioni di esposizione, per quanto riguarda possibili effetti a lungo termine si devono segnalare i risultati di alcune indagini epidemiologiche che sembrano indicare un'associazione tra l'esposizione cronica ai campi magnetici e lo sviluppo di alcune forme di tumori.

Produzione Raggi X



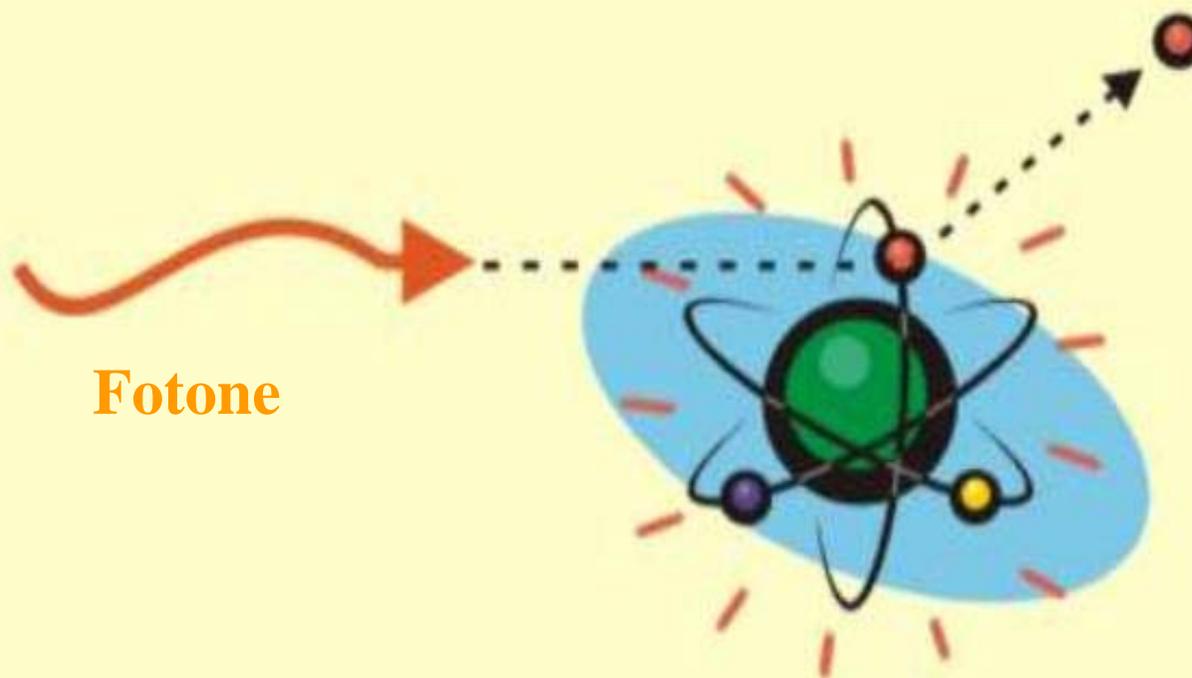
LE APPARECCHIATURE RADIOGENE



Tubo radiogeno

Particolare

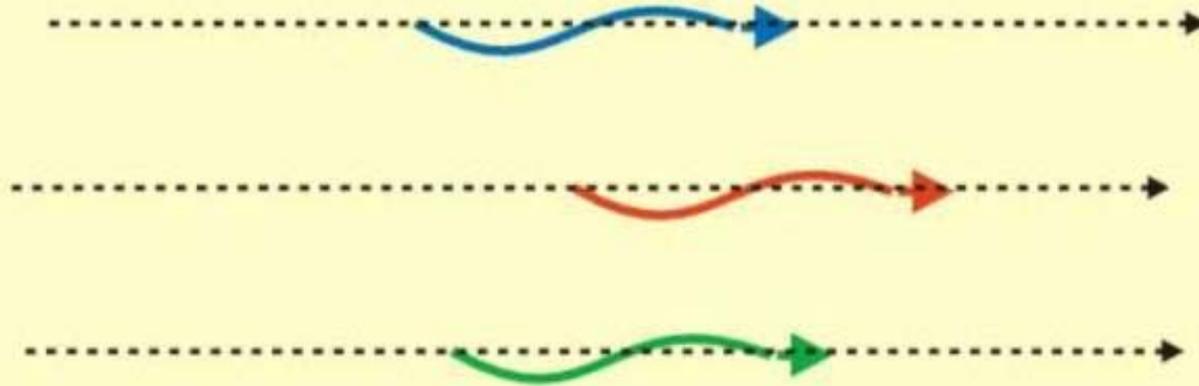
Radiazioni ionizzanti



Fotone

FOTONI

Piccoli pacchetti di energia



FOTONI CARATTERISTICHE



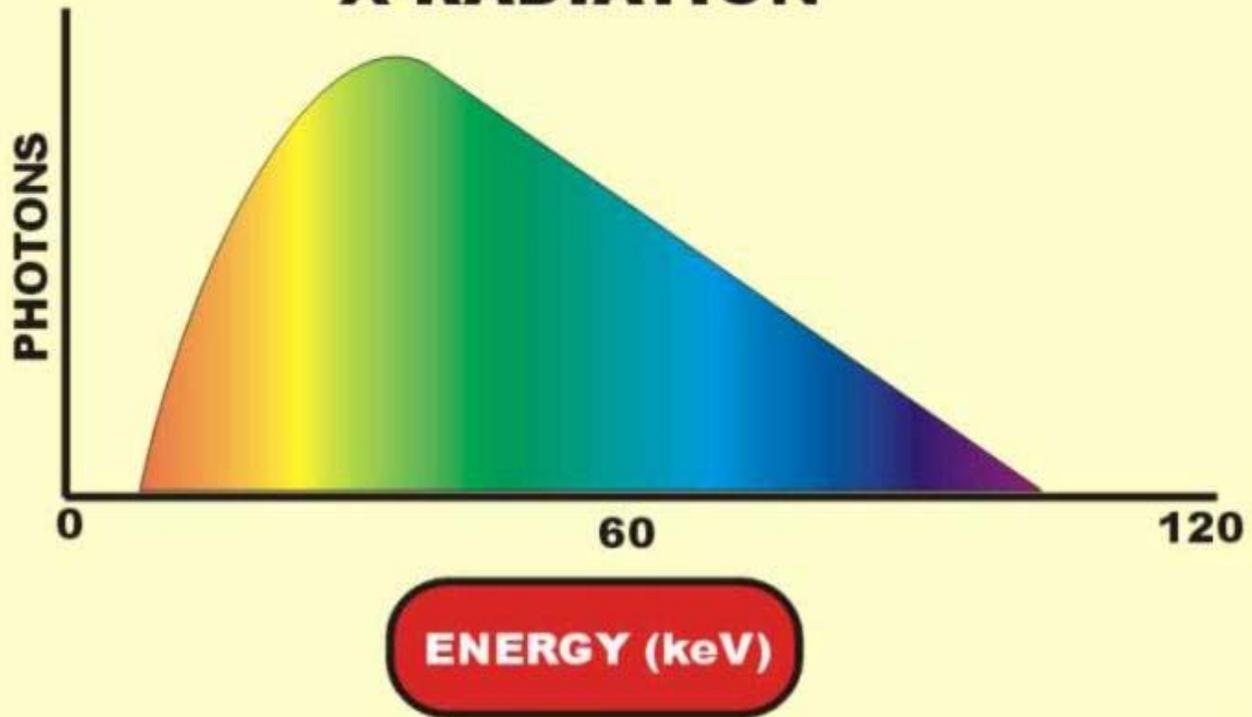
ENERGY (keV)

X-RAY and GAMMA

PHOTON ENERGY SPECTRUM



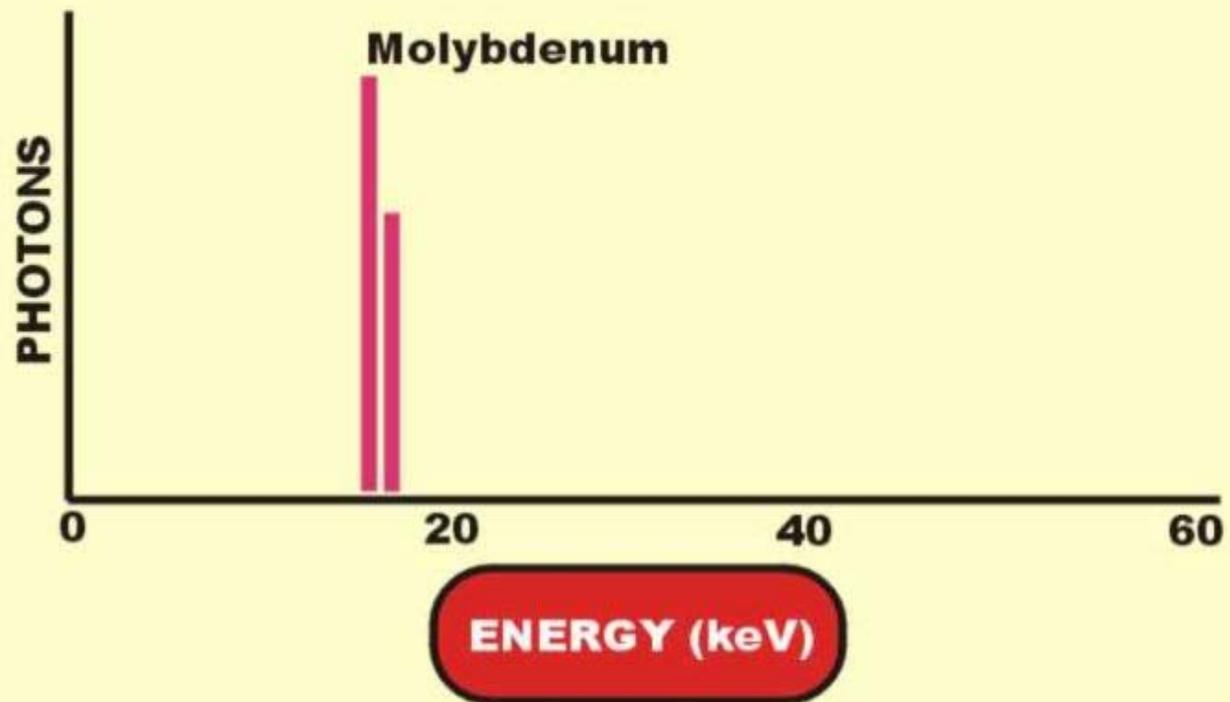
X-RADIATION



PHOTON ENERGY SPECTRUM



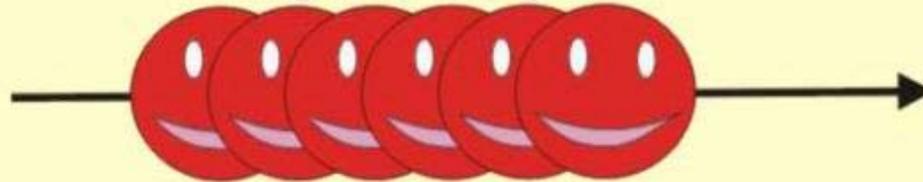
CHARACTERISTIC X-RADIATION



ENERGIA DEGLI ELETTRONI

KINETIC ENERGY

High Velocity



SLOW



ELECTRICAL POTENTIAL ENERGY



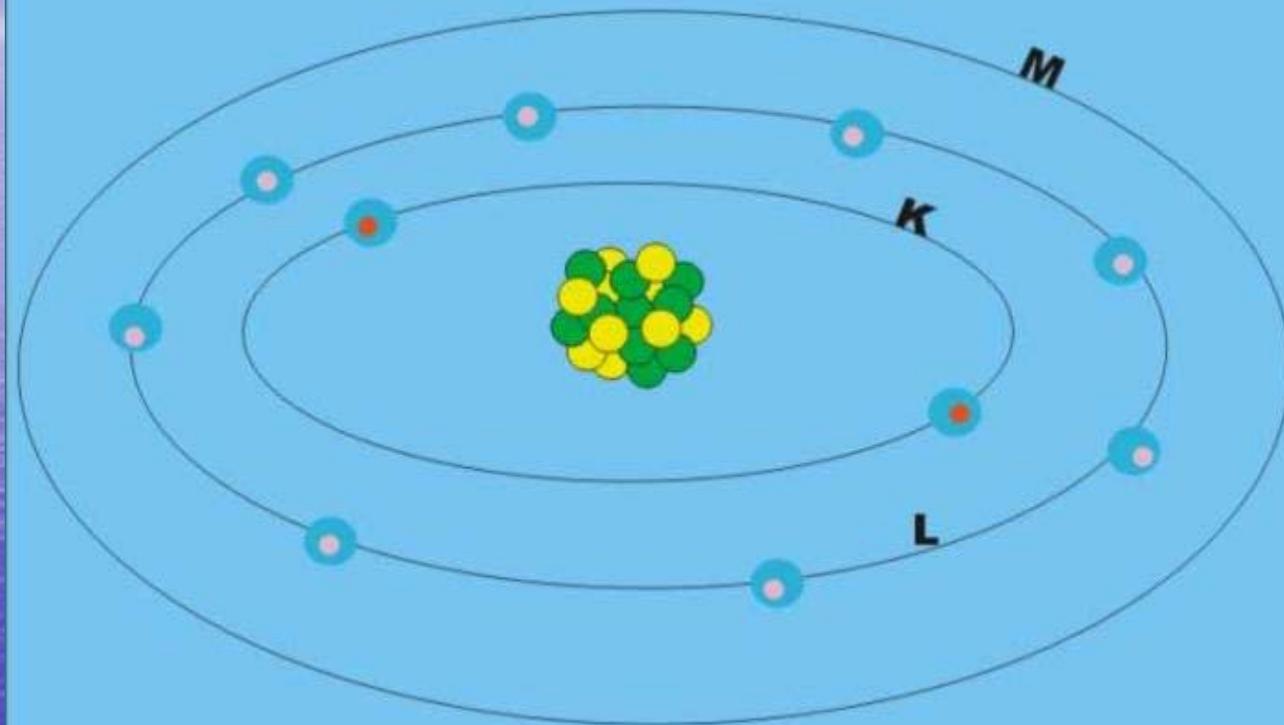
100keV

VOLTAGE

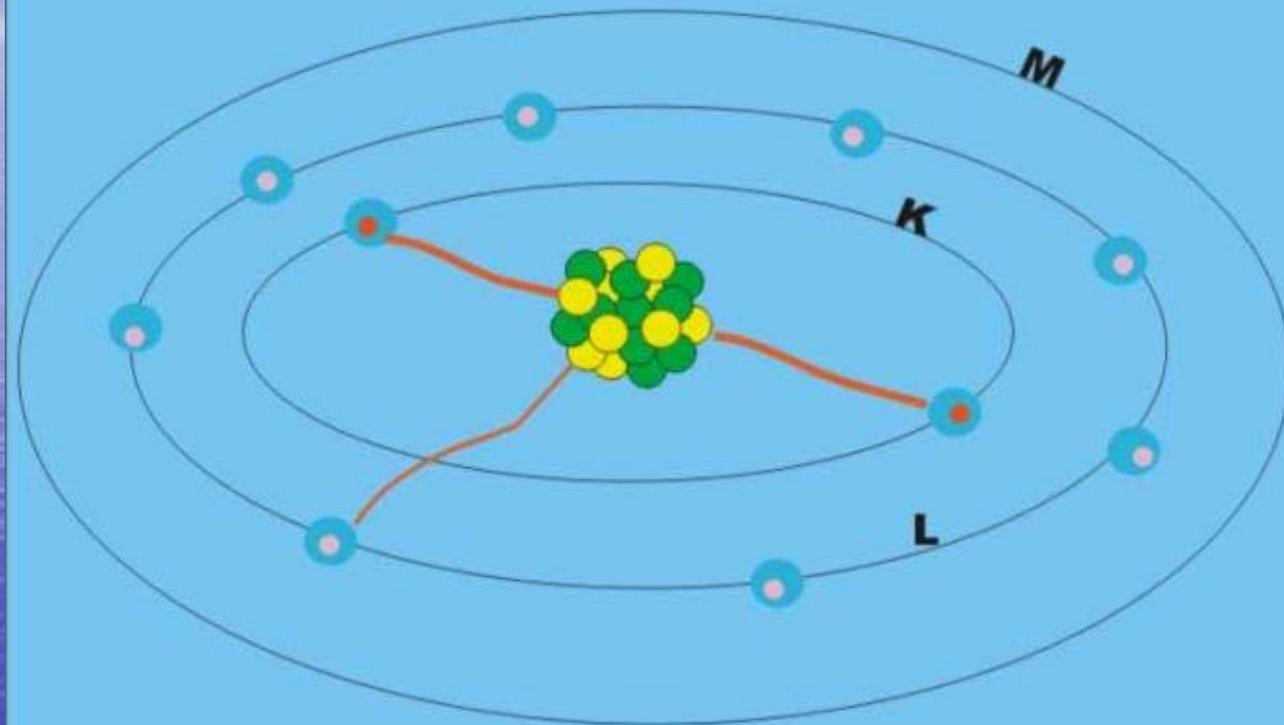
100,000 volts



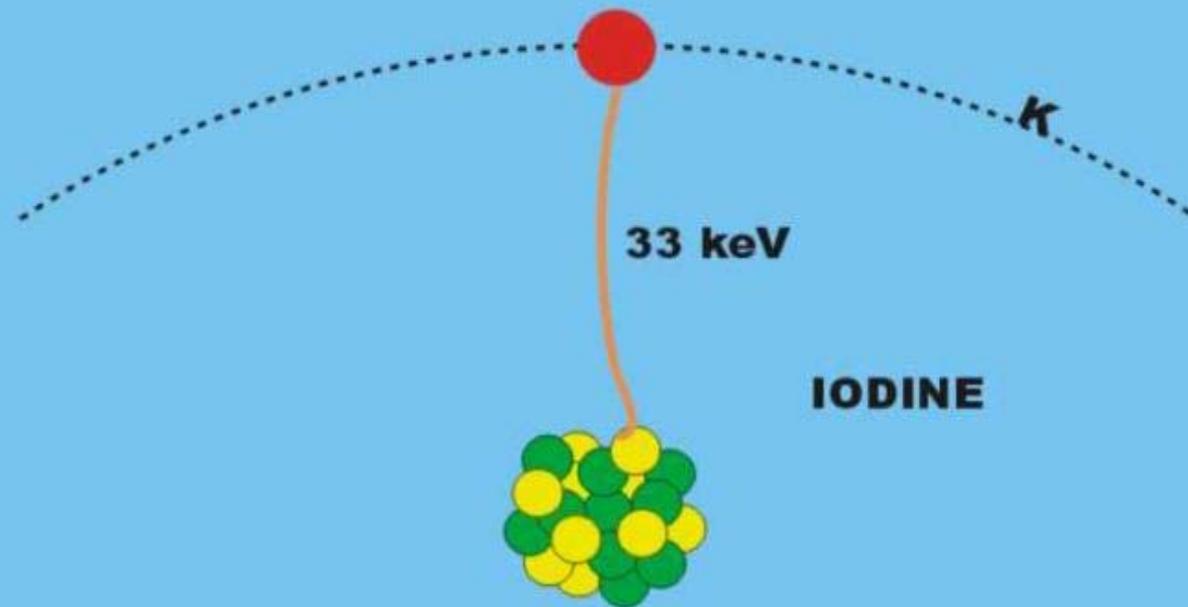
ATOM



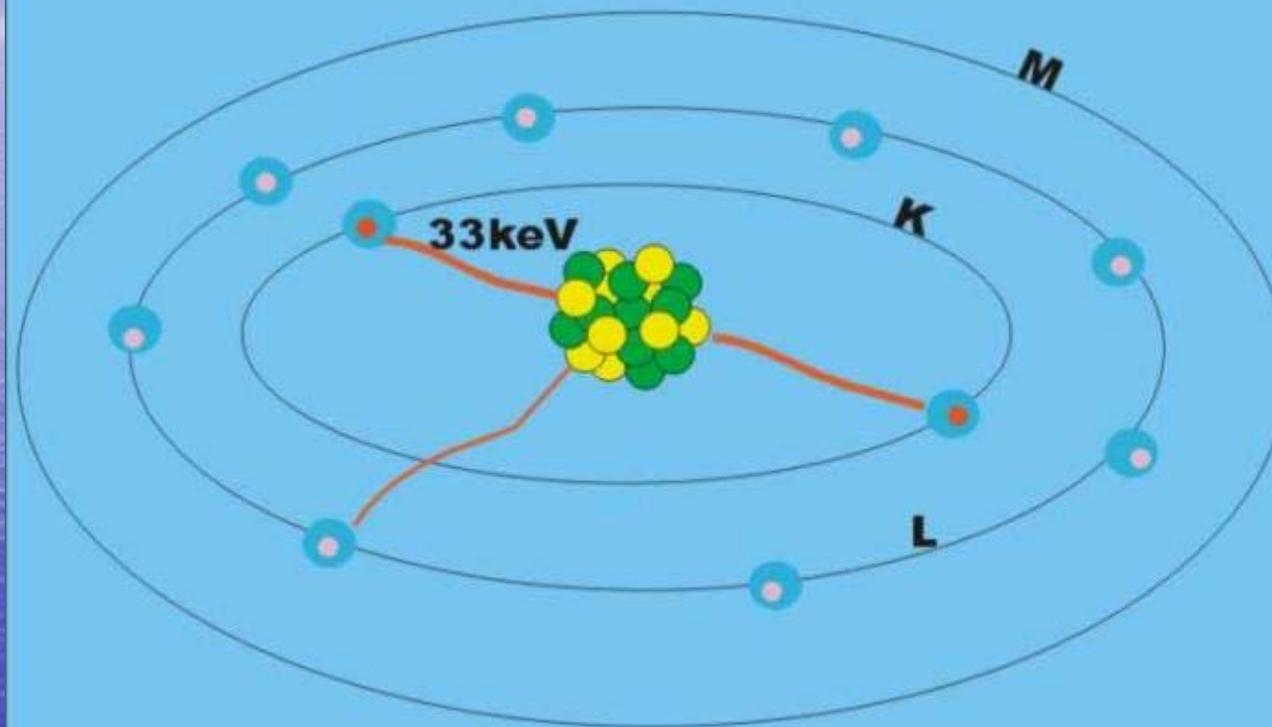
ELECTRON BINDING ENERGY



BINDING ENERGY

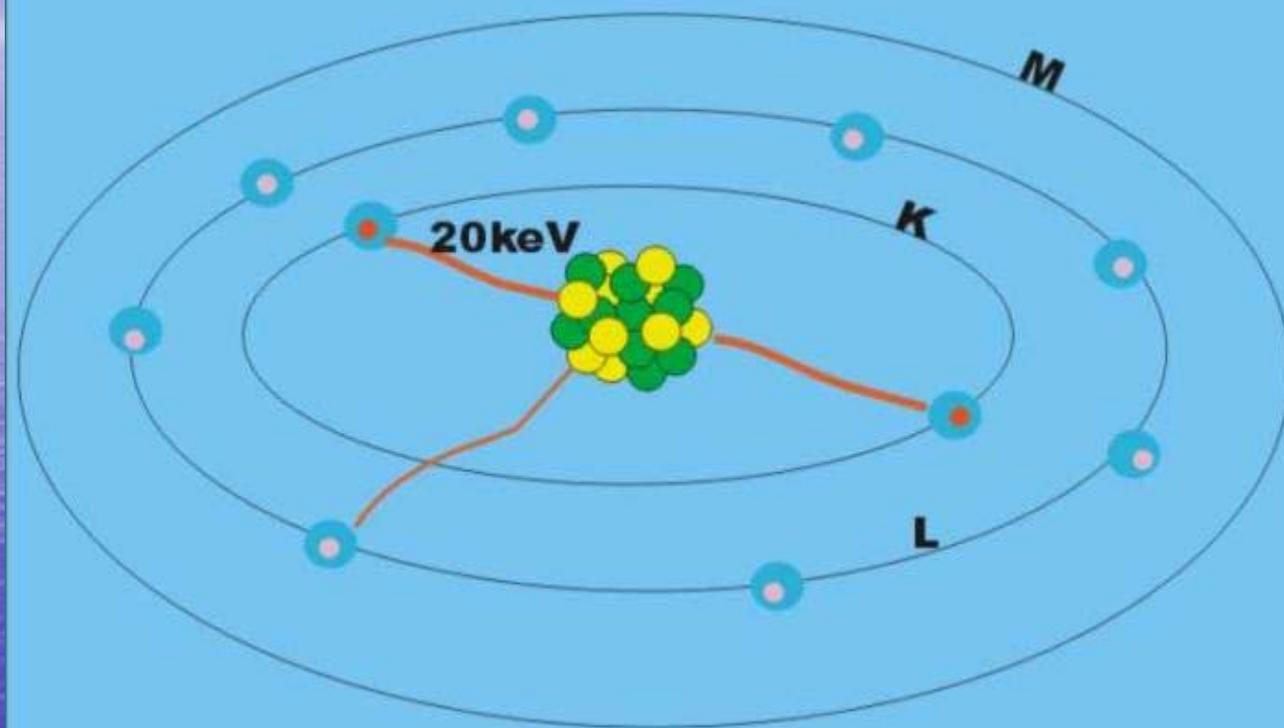


ELECTRON BINDING ENERGY IODINE



Z=53

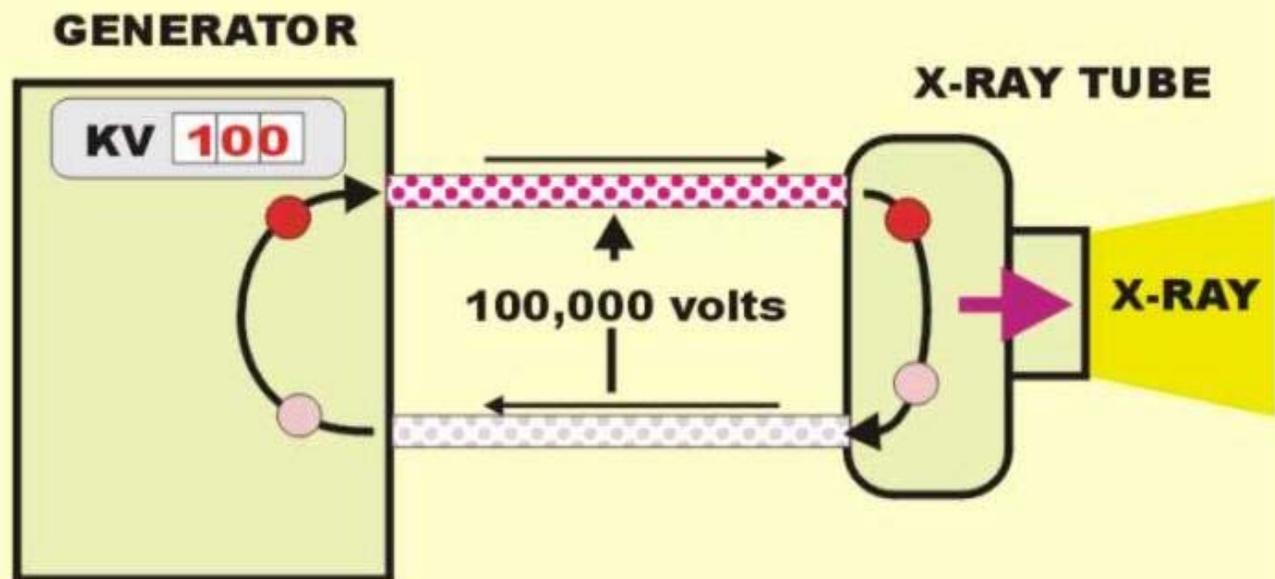
ELECTRON BINDING ENERGY MOLYBDENUM



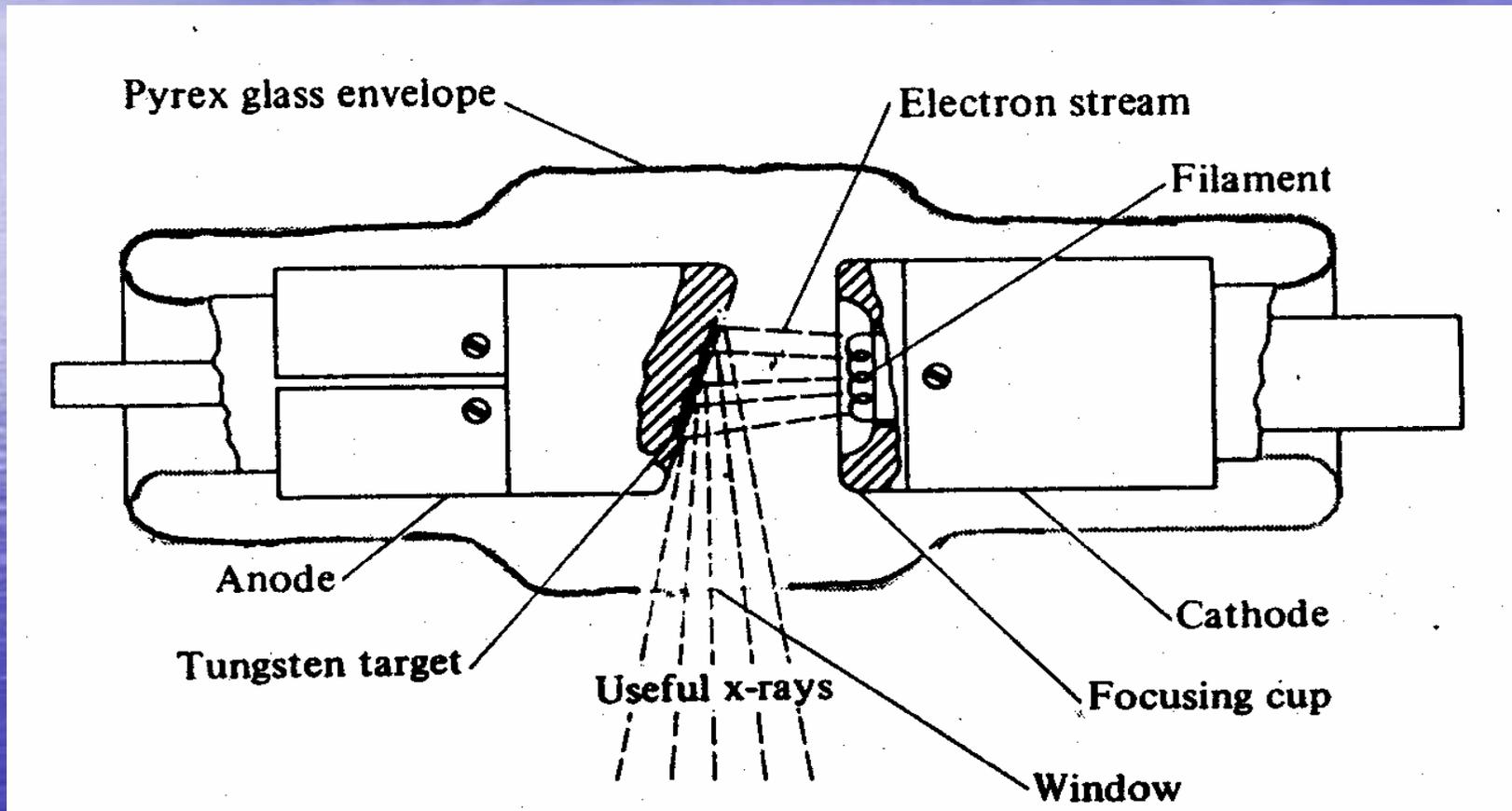
Z=42

THE X-RAY SYSTEM

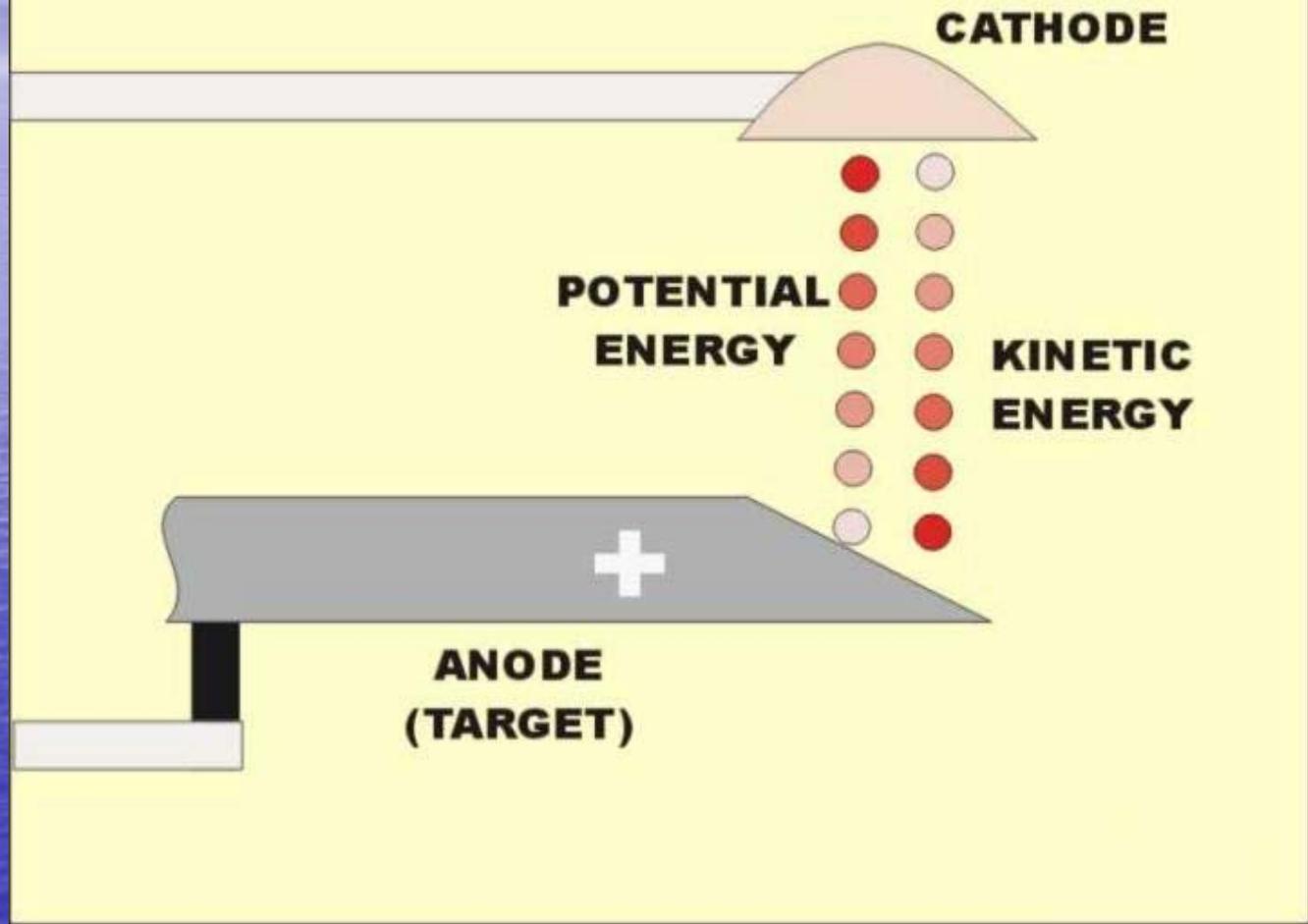
AN ELECTRON CIRCULATORY SYSTEM



TUBO A RAGGI X



INSIDE THE TUBE



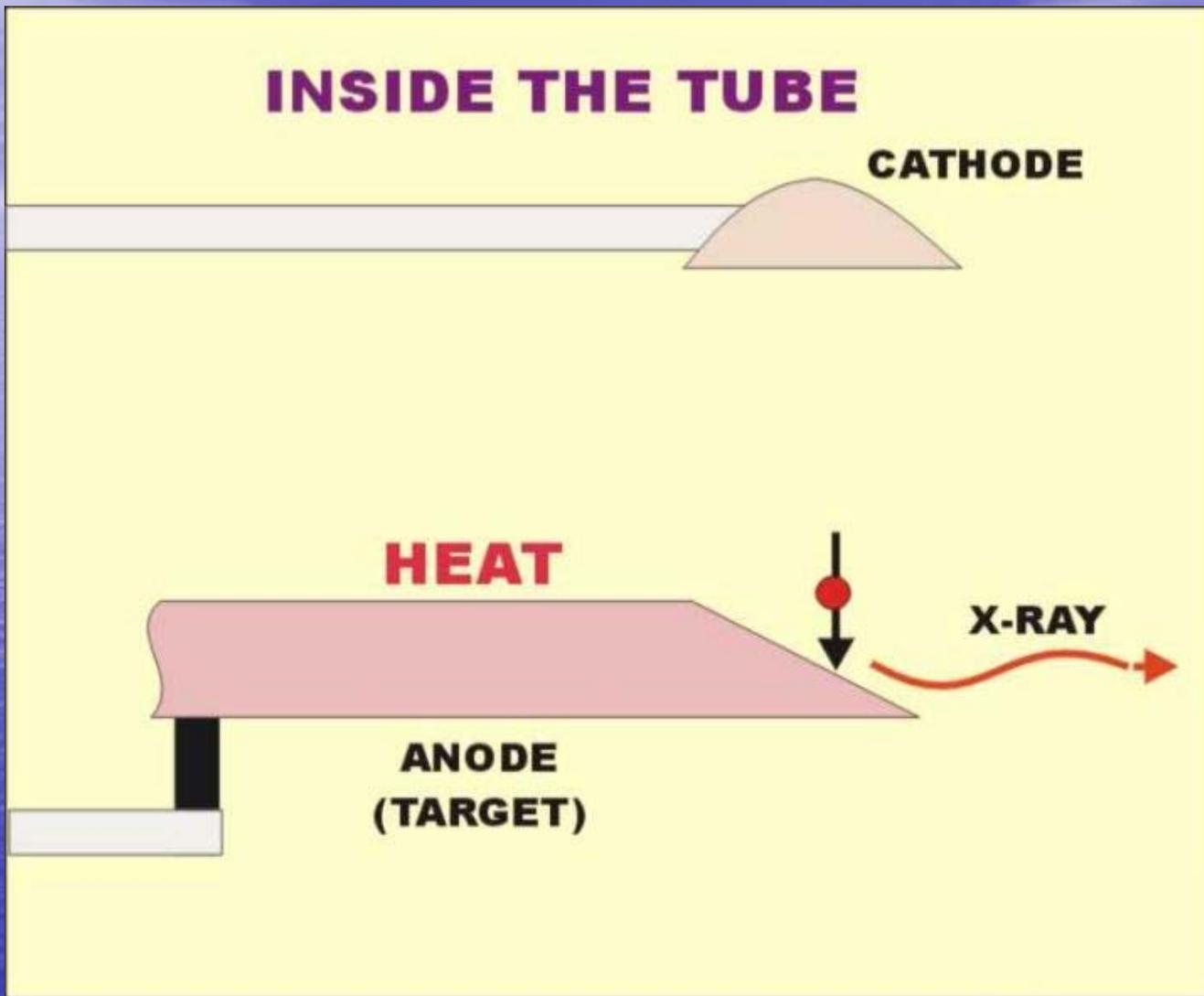
INSIDE THE TUBE

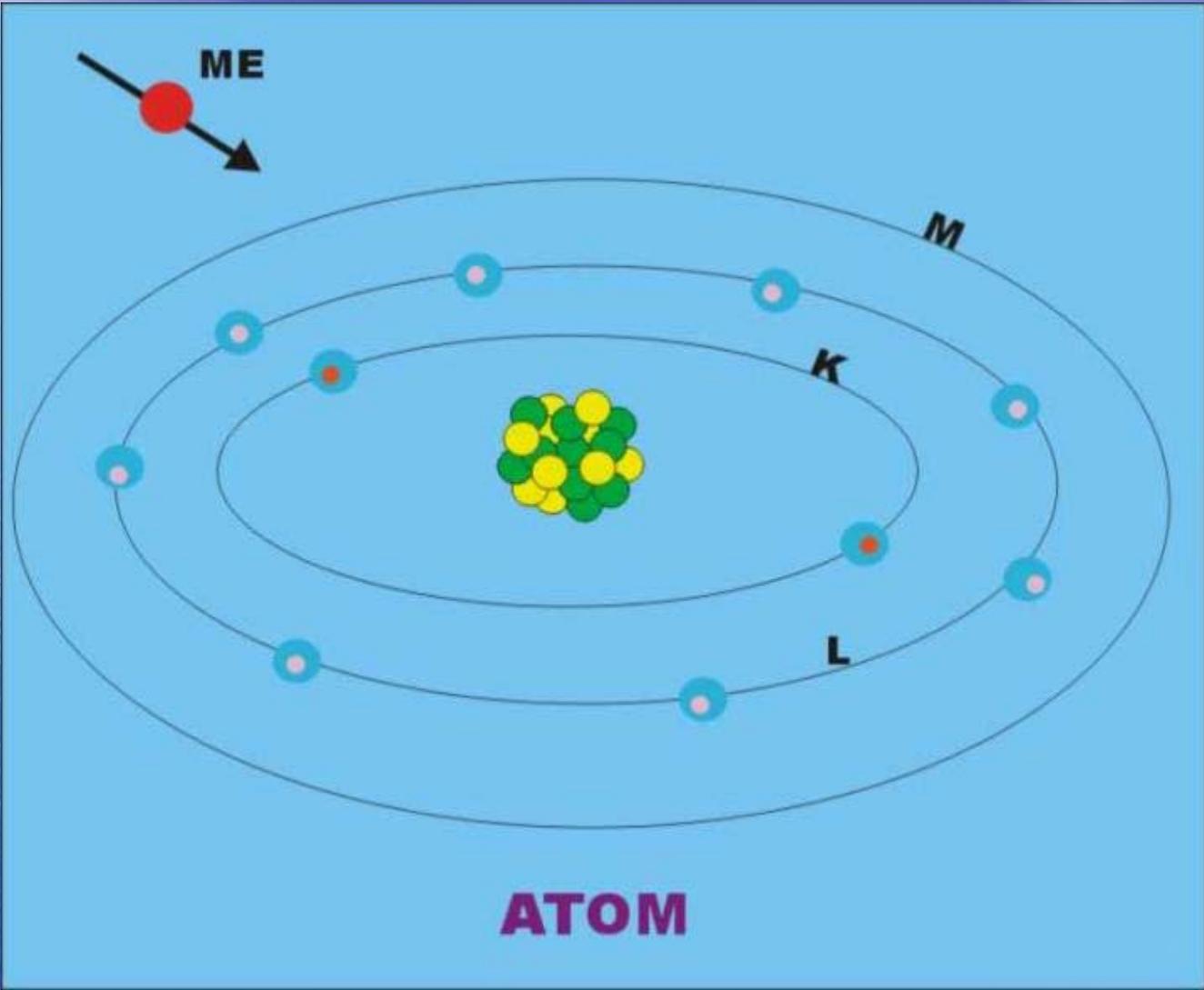
CATHODE

HEAT

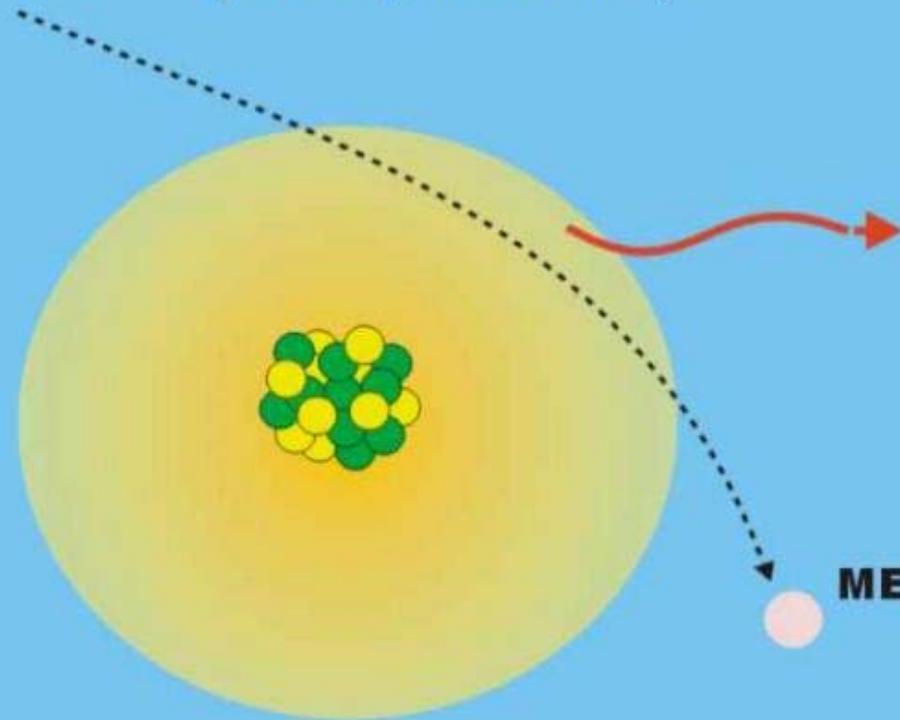
X-RAY

ANODE
(TARGET)



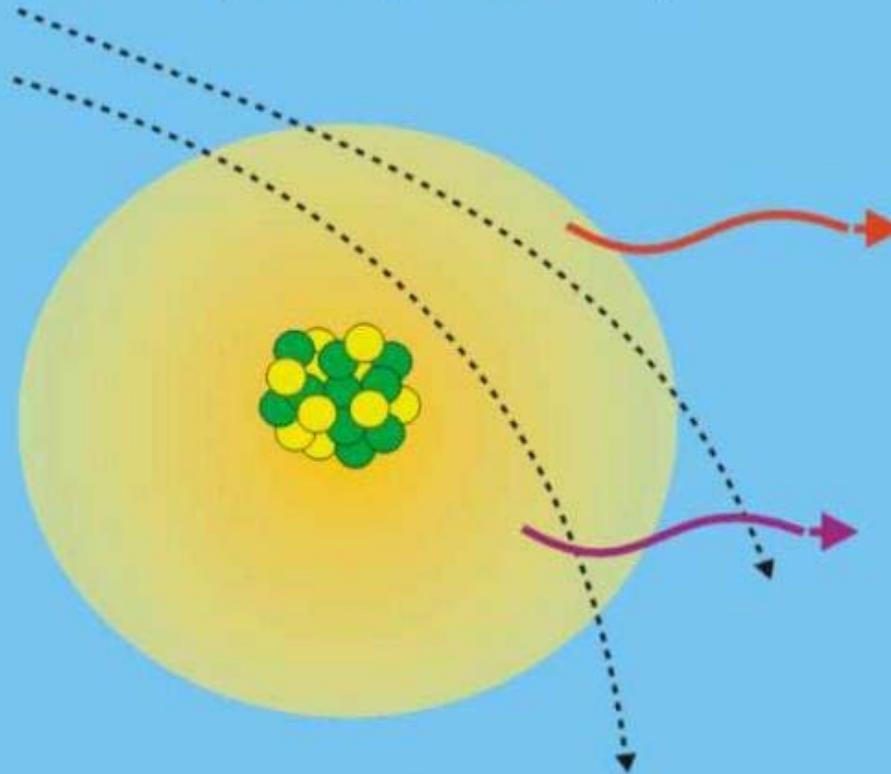


BREMSSTRAHLUNG (Braking Radiation)



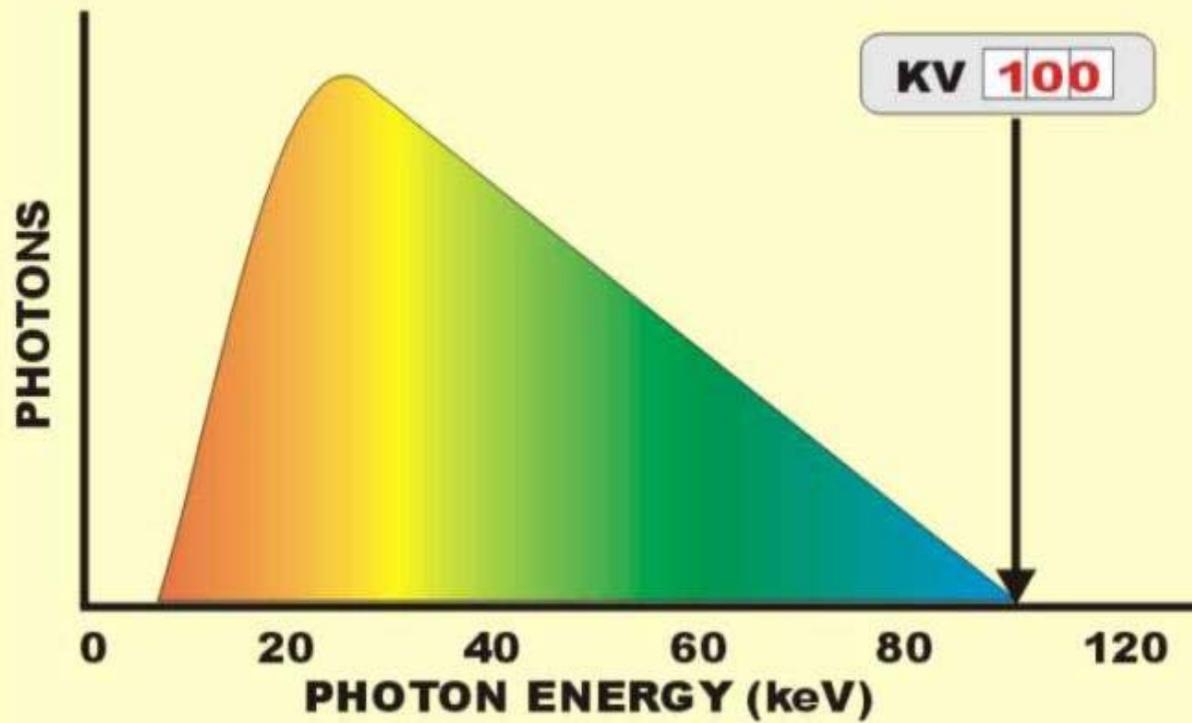
ATOM

BREMSSTRAHLUNG (Braking Radiation)

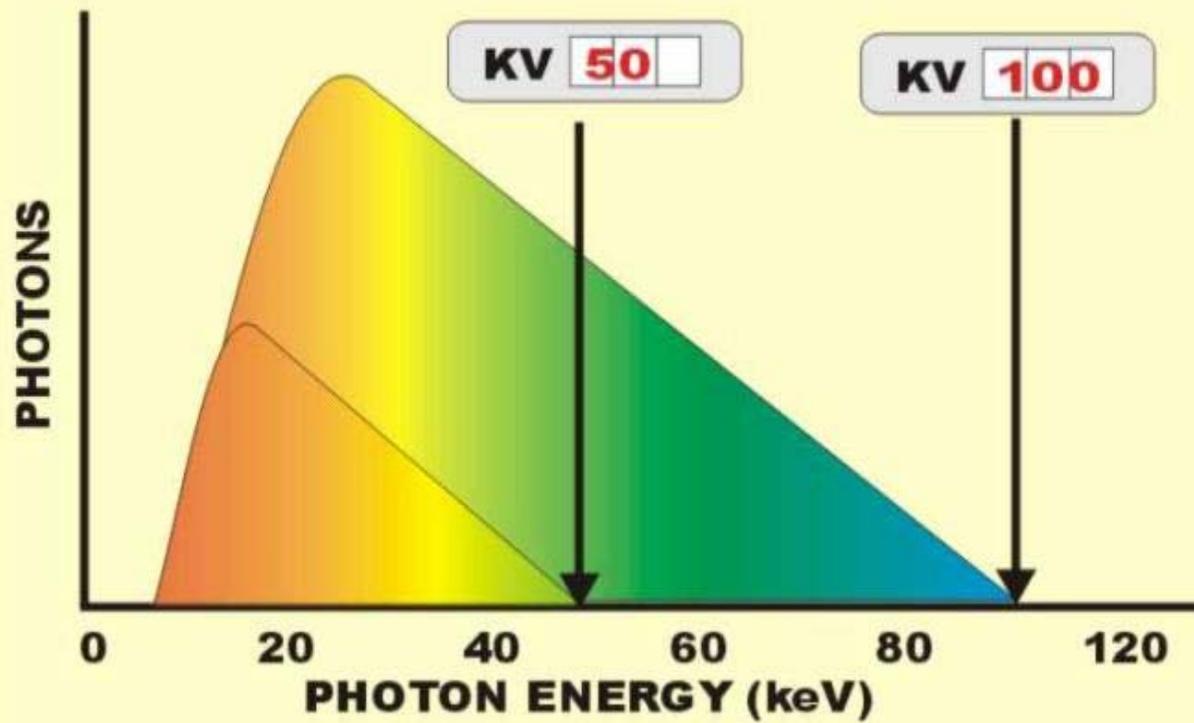


ATOM

X-RAY SPECTRUM

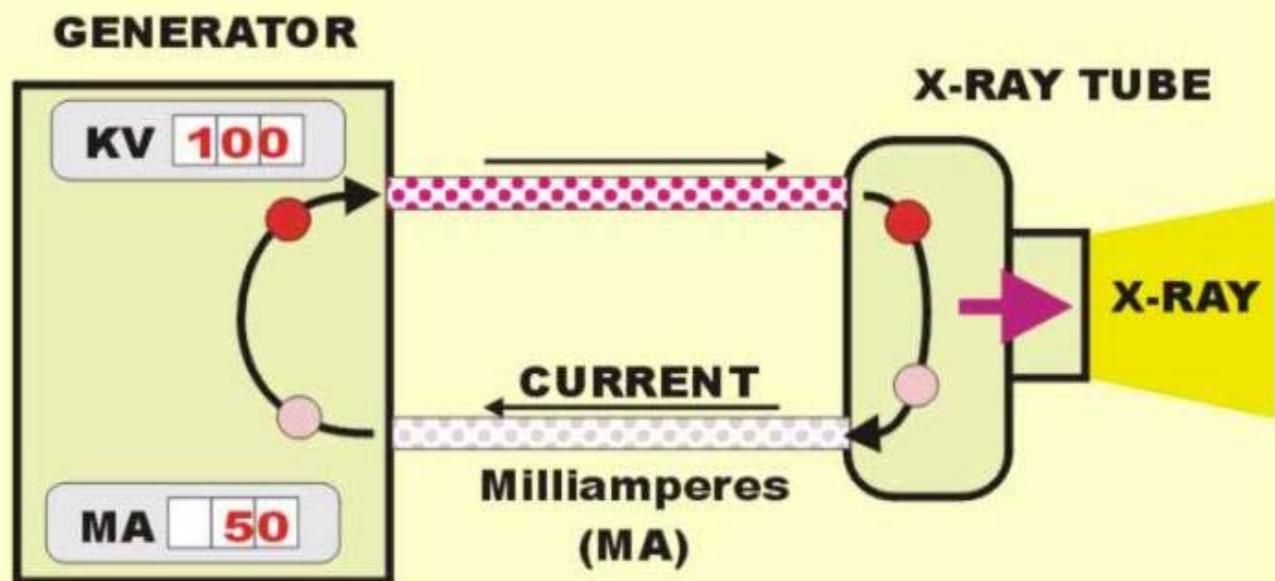


X-RAY SPECTRUM

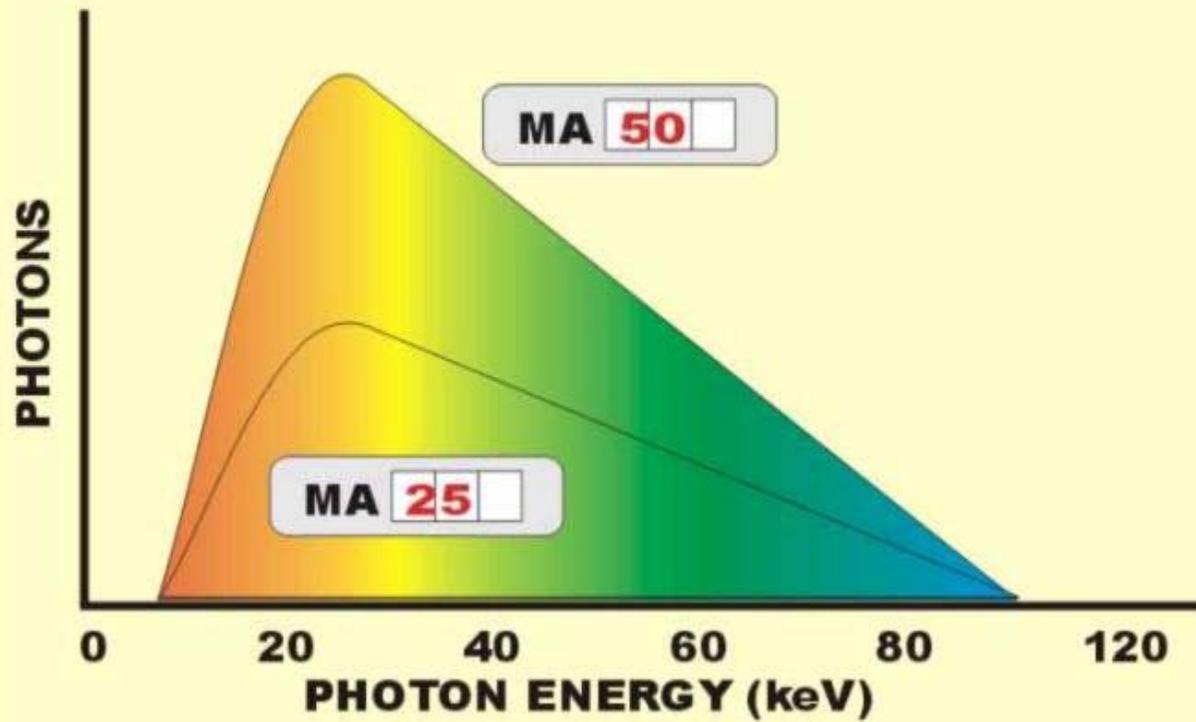


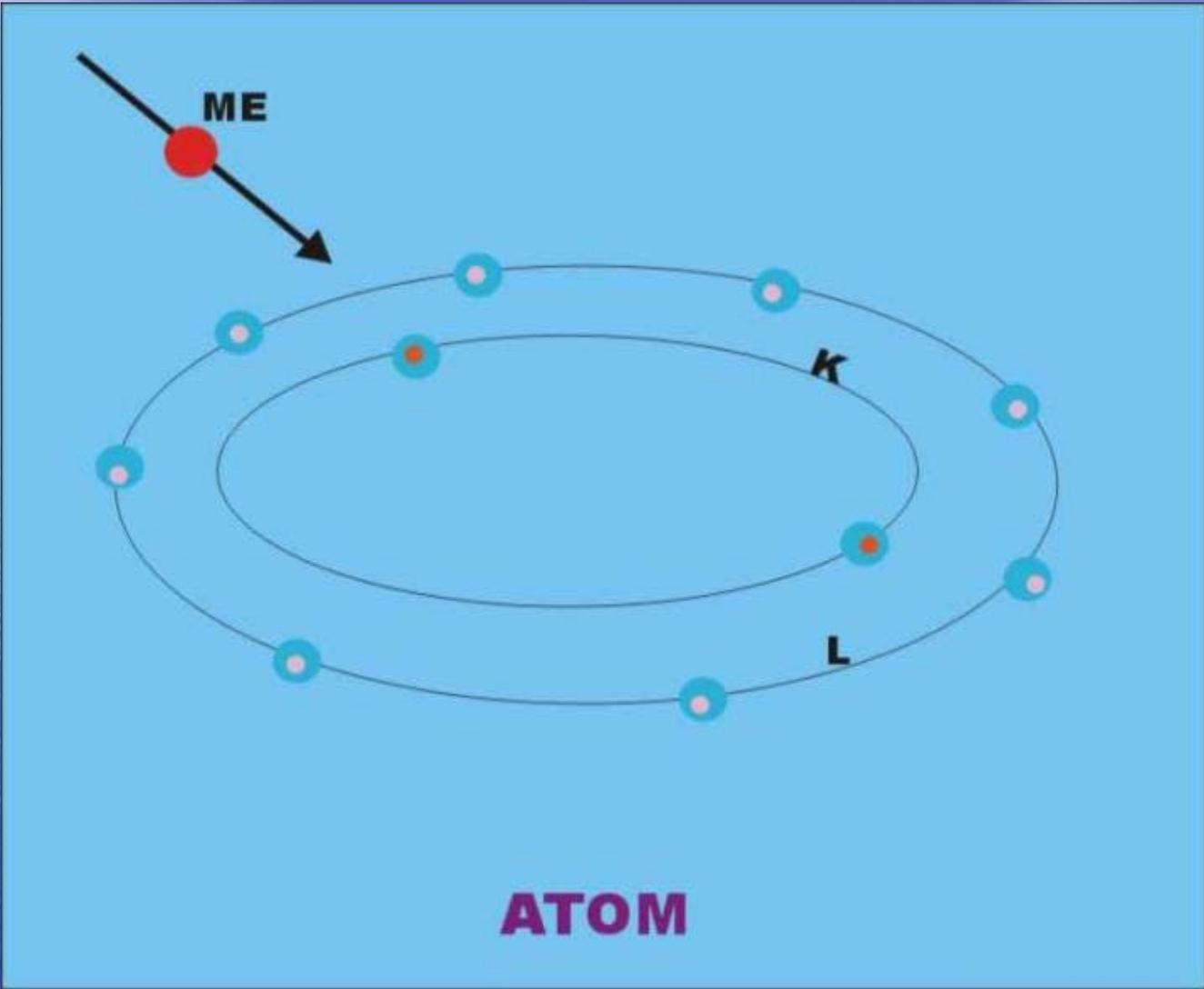
THE X-RAY SYSTEM

AN ELECTRON CIRCULATORY SYSTEM

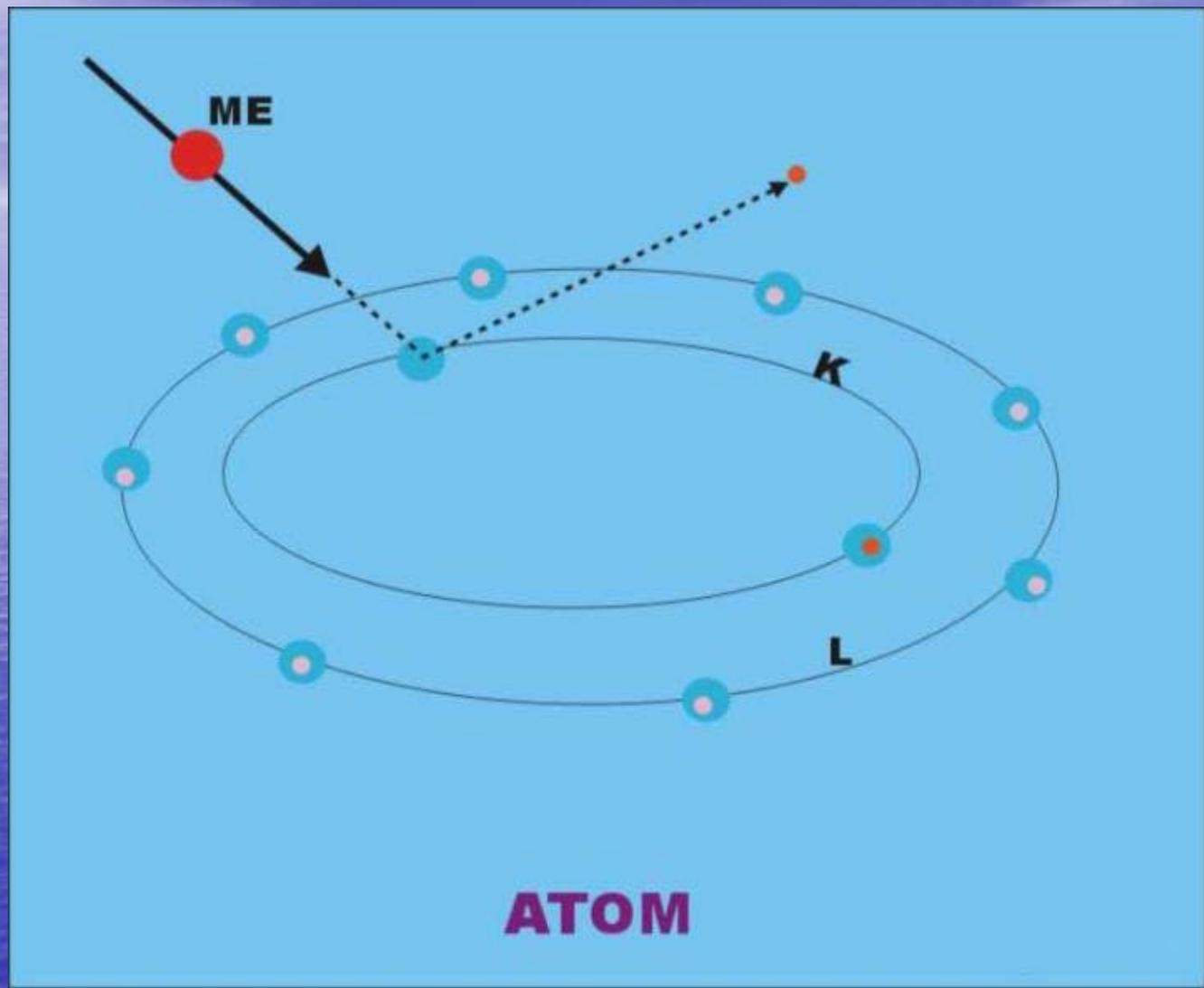


X-RAY SPECTRUM

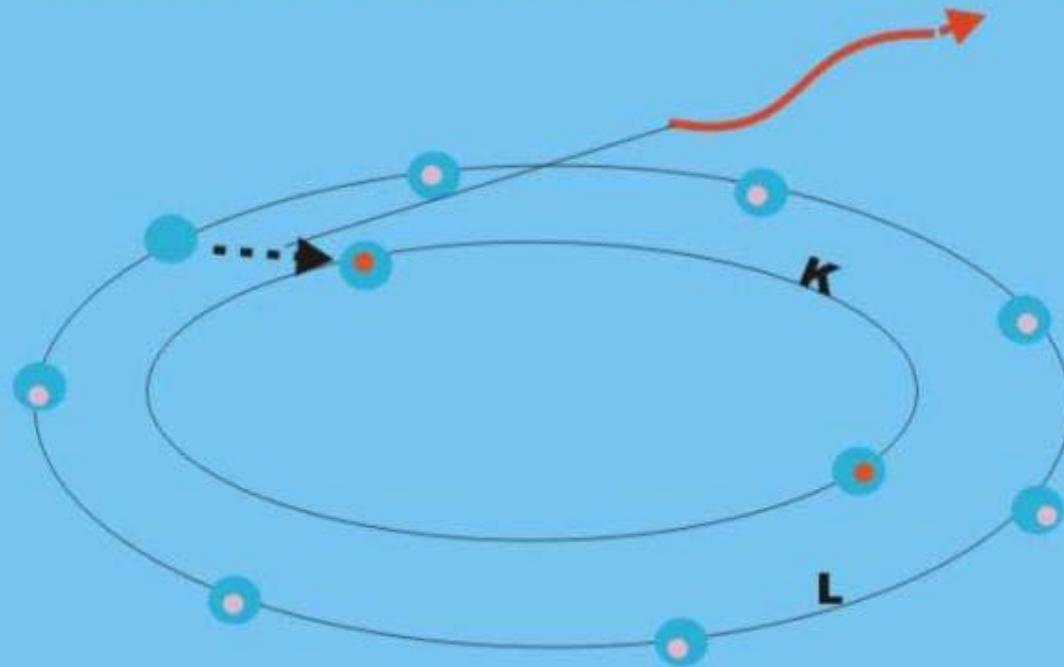




ATOM



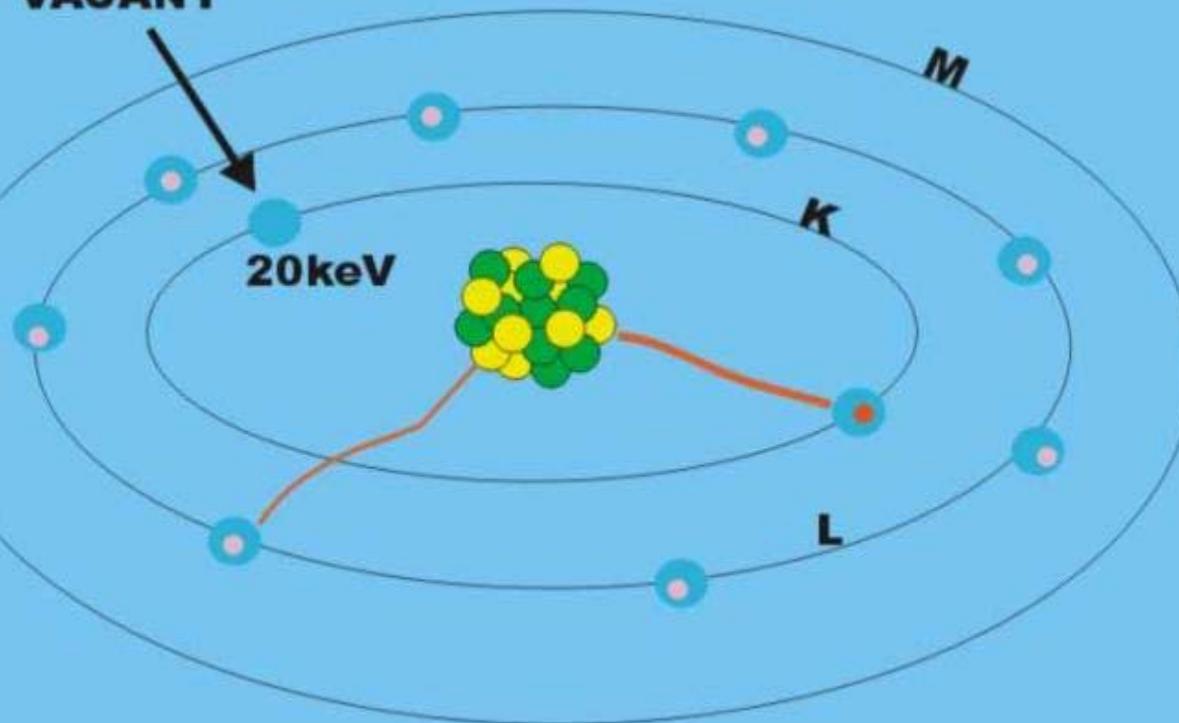
CHARACTERISTIC X-RADIATION



ATOM

ELECTRON BINDING ENERGY MOLYBDENUM

VACANT



20keV

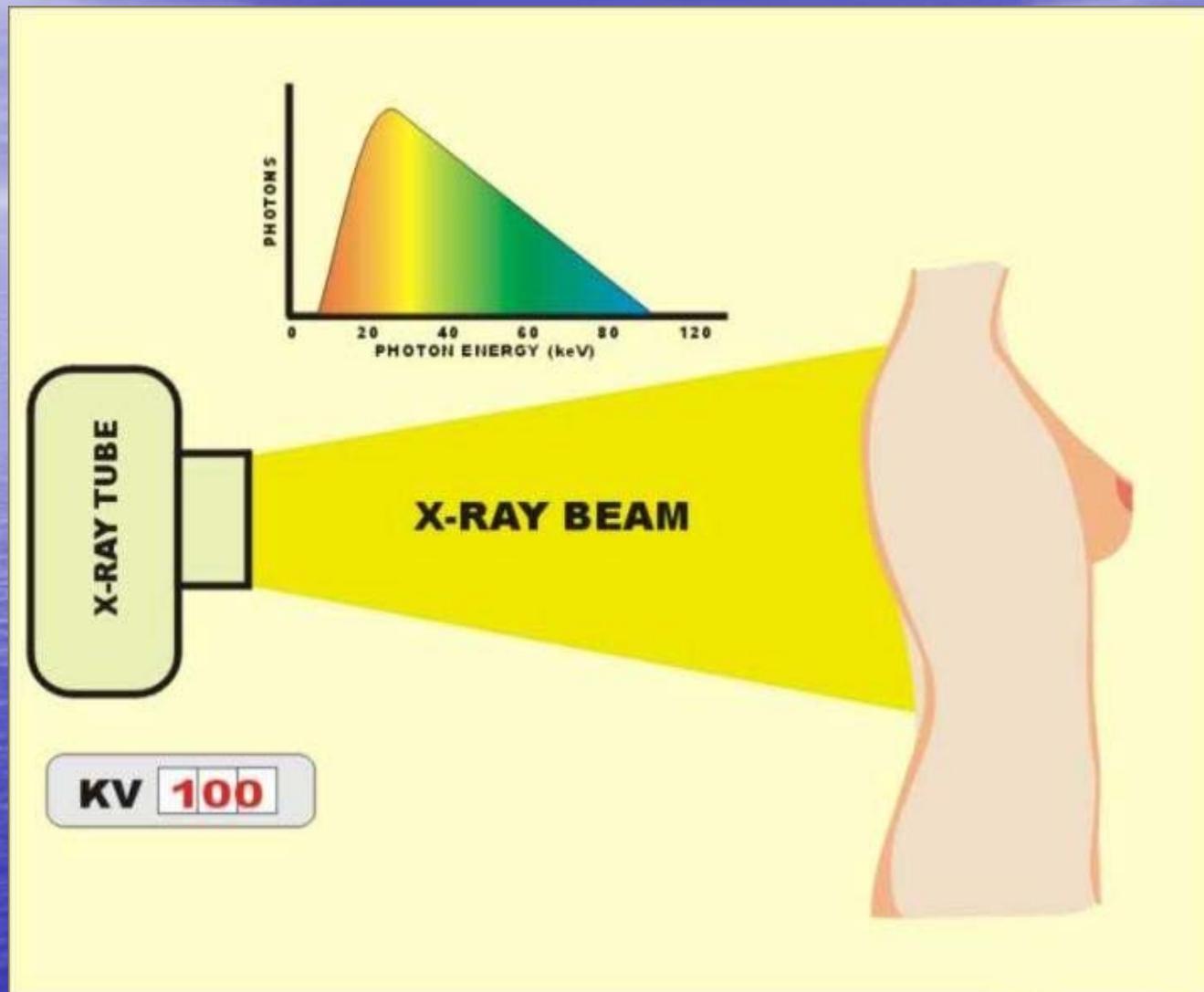
M

K

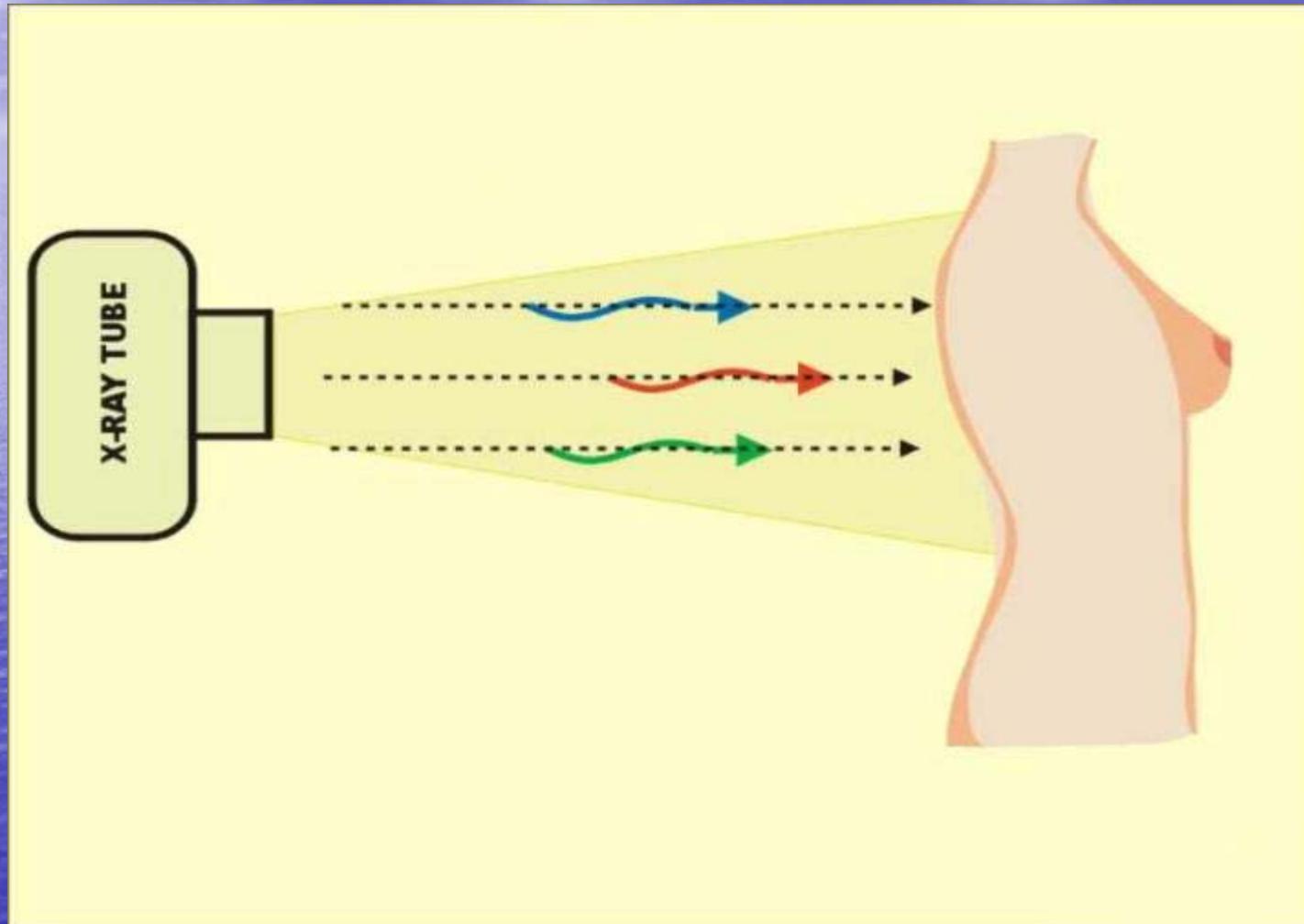
L

Z=42

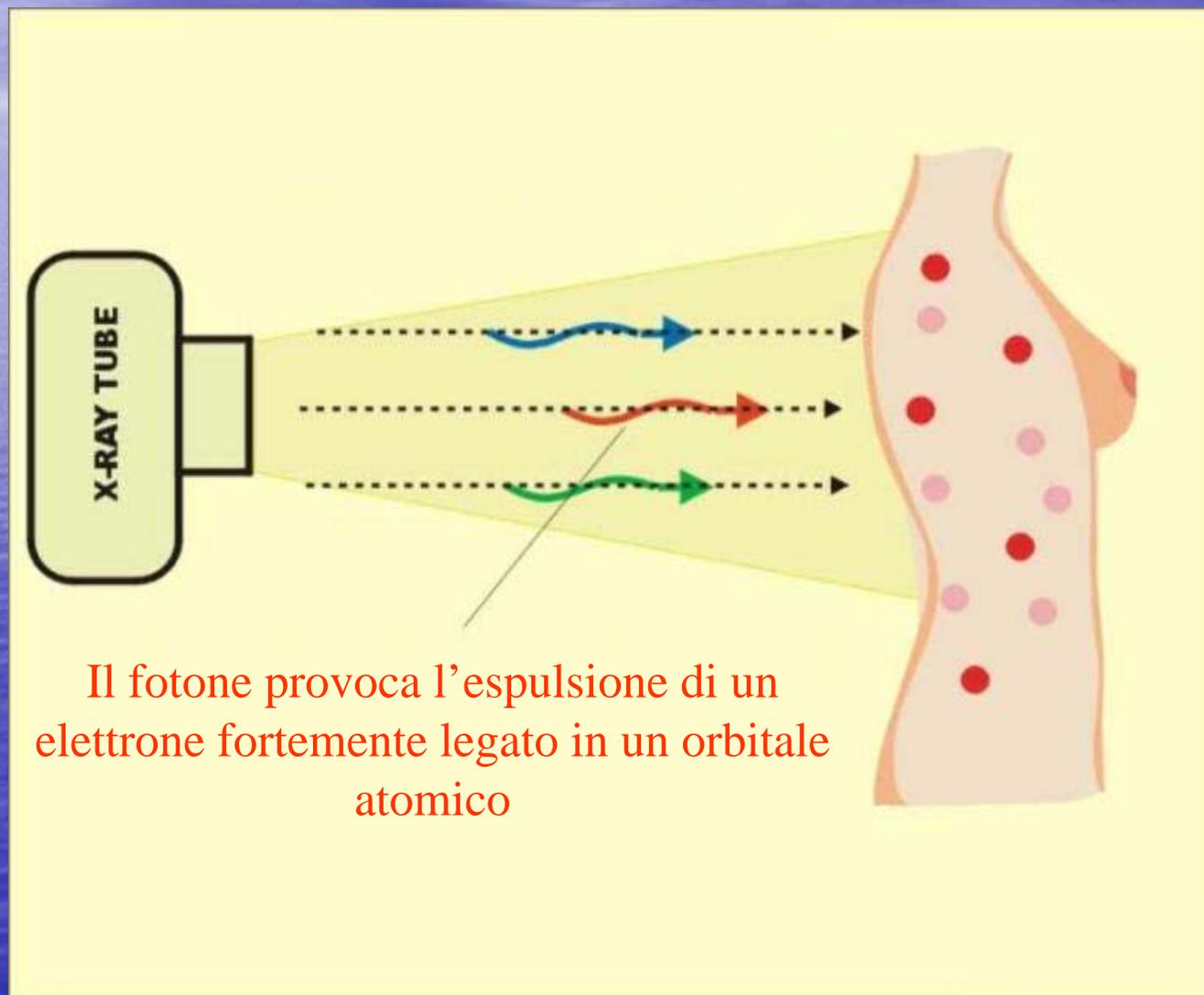
Interazioni Raggi X - Materia



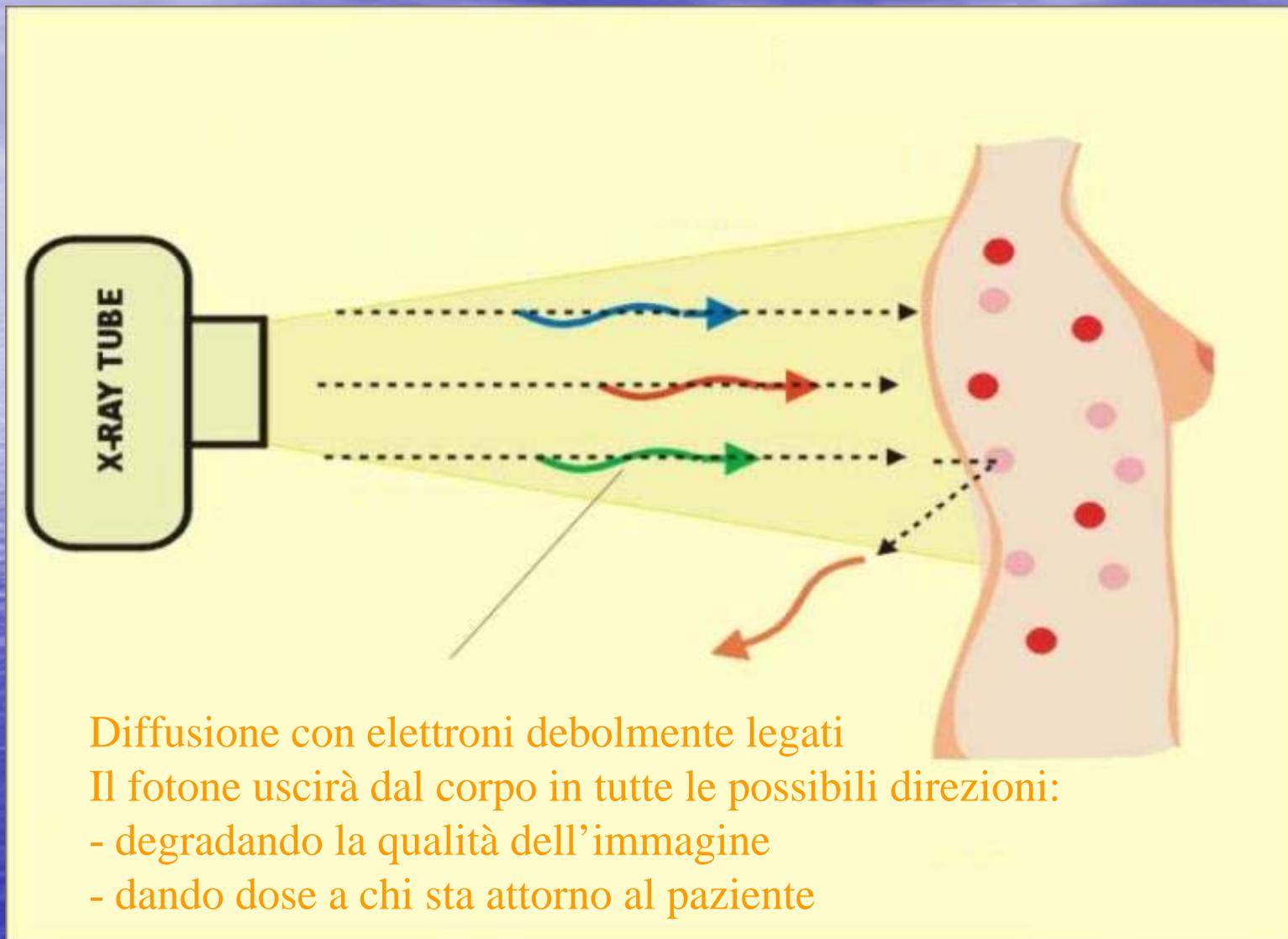
Tre tipi possibili di interazioni



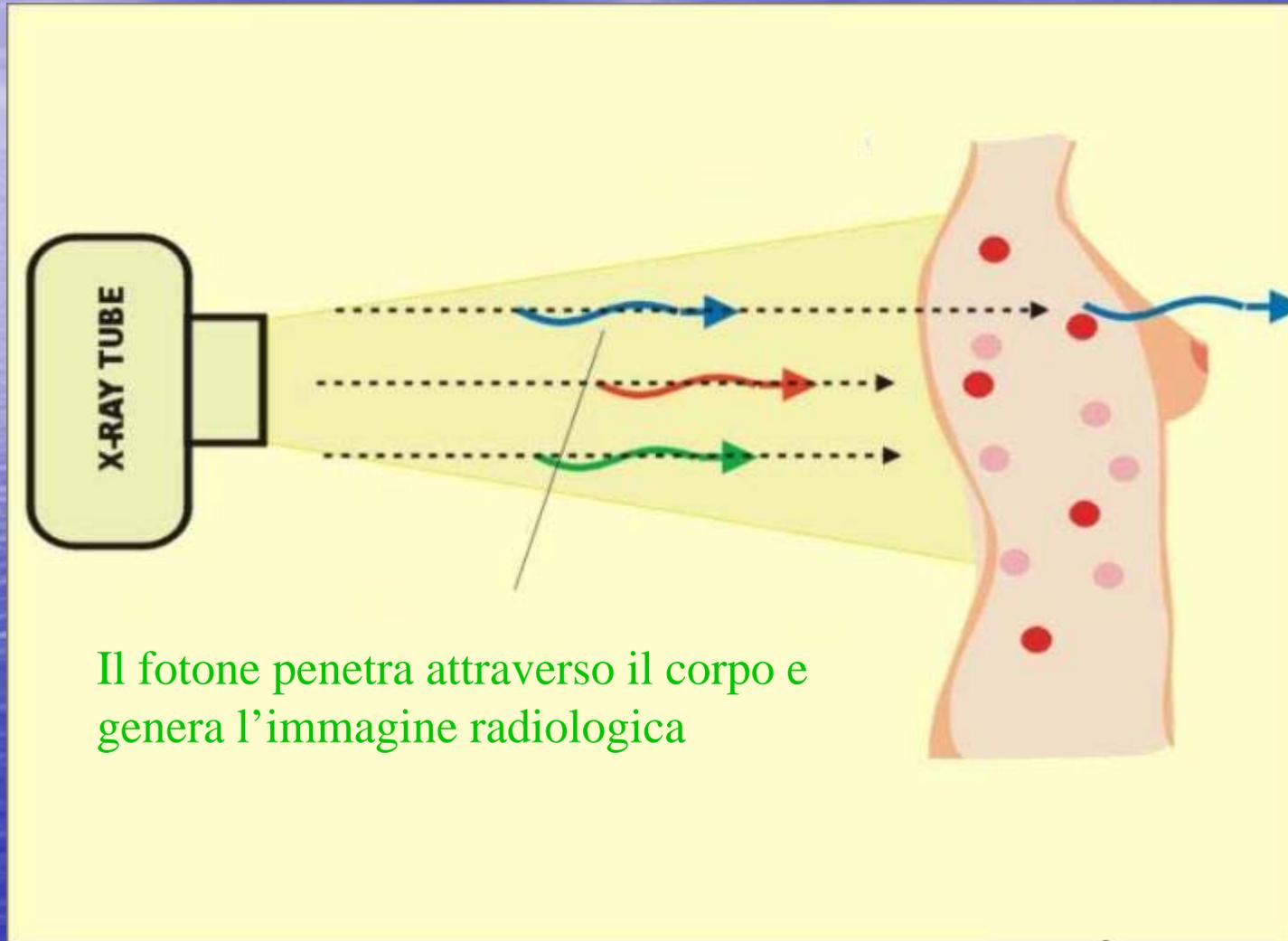
Interazione fotoelettrica



Diffusione Compton

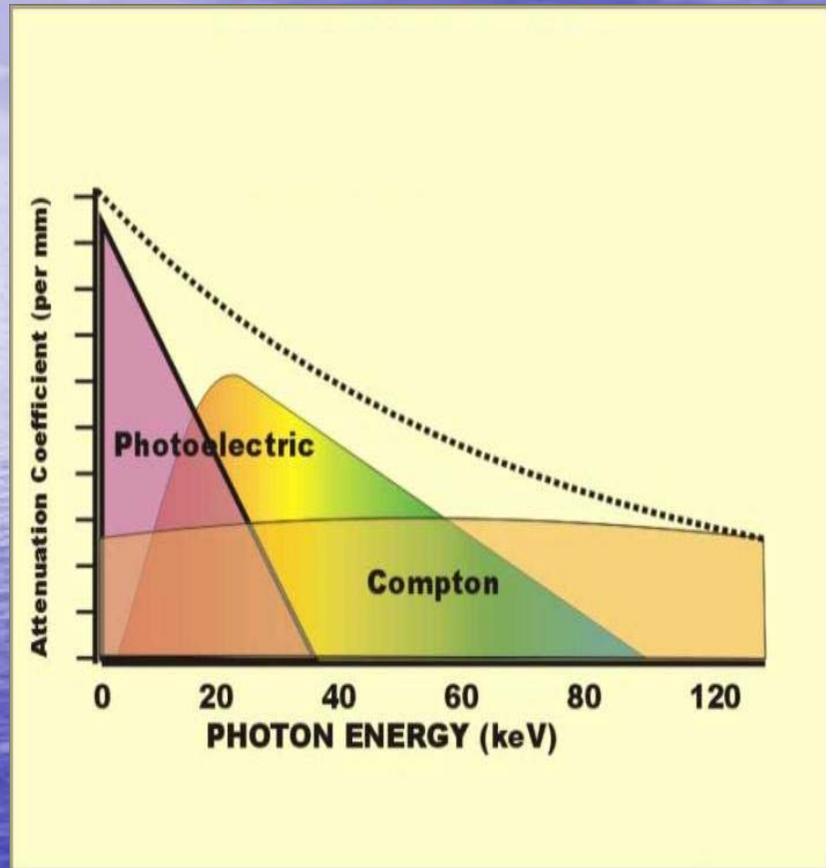


Trasmissione



Il fotone penetra attraverso il corpo e genera l'immagine radiologica

Attenuazione totale nel tessuto molle

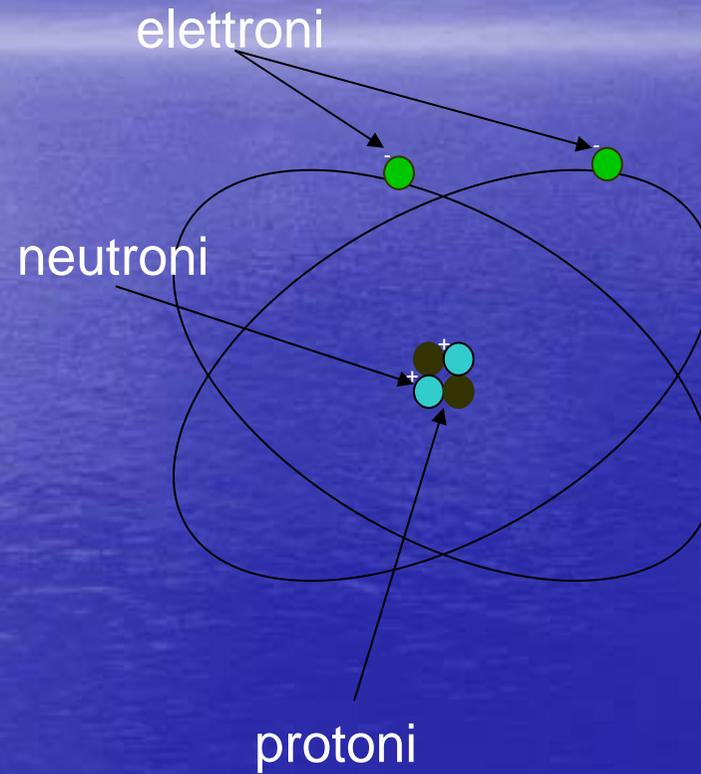


- ❖ L'effetto fotoelettrico è prevalente alle basse energie (ex mammografia)
- ❖ L'effetto Compton è quasi indipendente dall'energia



La penetrazione del fascio aumenta all'aumentare dell'energia

STRUTTURA ATOMICA E NUCLEARE



Struttura dell'atomo di Elio

Perché alcuni nuclei sono stabili e altri decadono radioattivamente ?

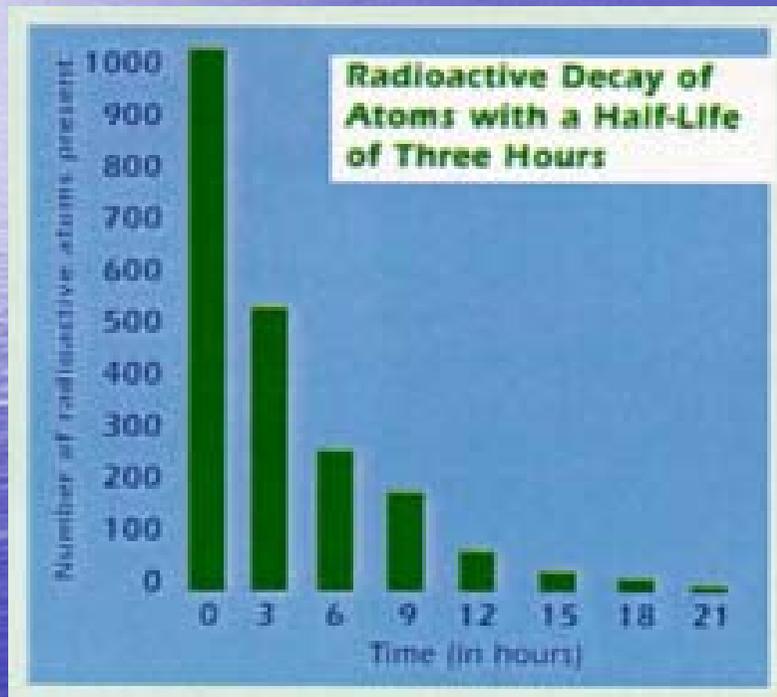
- La risposta sta nel principio di conservazione dell'energia.
- Un nucleo decadrà se esiste un insieme di particelle con massa totale più bassa che può essere raggiunto da uno qualunque dei tipi di decadimento possibili o semplicemente per fissione, un processo in cui un nucleo massiccio si divide in frammenti più leggeri
- La massa di un nucleo è determinata dalla somma delle energie di tutti i suoi costituenti. Le energie dei costituenti dipendono dalle loro masse, dal movimento e dalle loro interazioni.
 - $E=mc^2$

Decadimento Radioattivo

- Il decadimento radioattivo è un processo esponenziale. In ogni intervallo di tempo prefissato non si disintegra lo stesso numero di atomi, bensì la stessa proporzione di atomi presenti
- Il tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ è il tempo necessario perché l'attività iniziale di un dato radioisotopo si riduca a metà.
- Ogni atomo radioattivo ha uno schema di decadimento caratterizzato da due grandezze:
 - 1) tempo di dimezzamento
 - 2) energia emessa



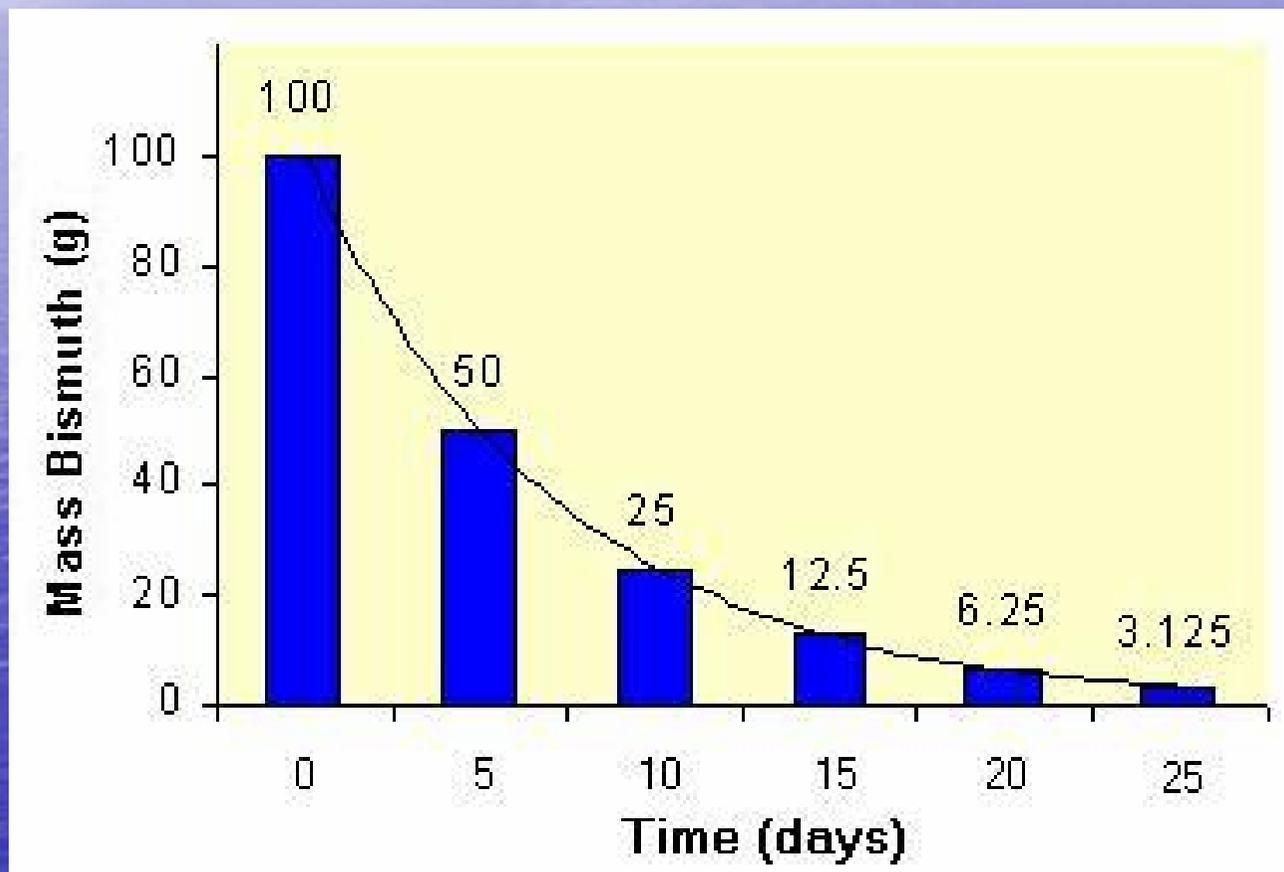
Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$



Se il tempo di dimezzamento dell'atomo radioattivo è di 3 ore ci dobbiamo aspettare che ogni tre ore si dimezzi l'attività presente



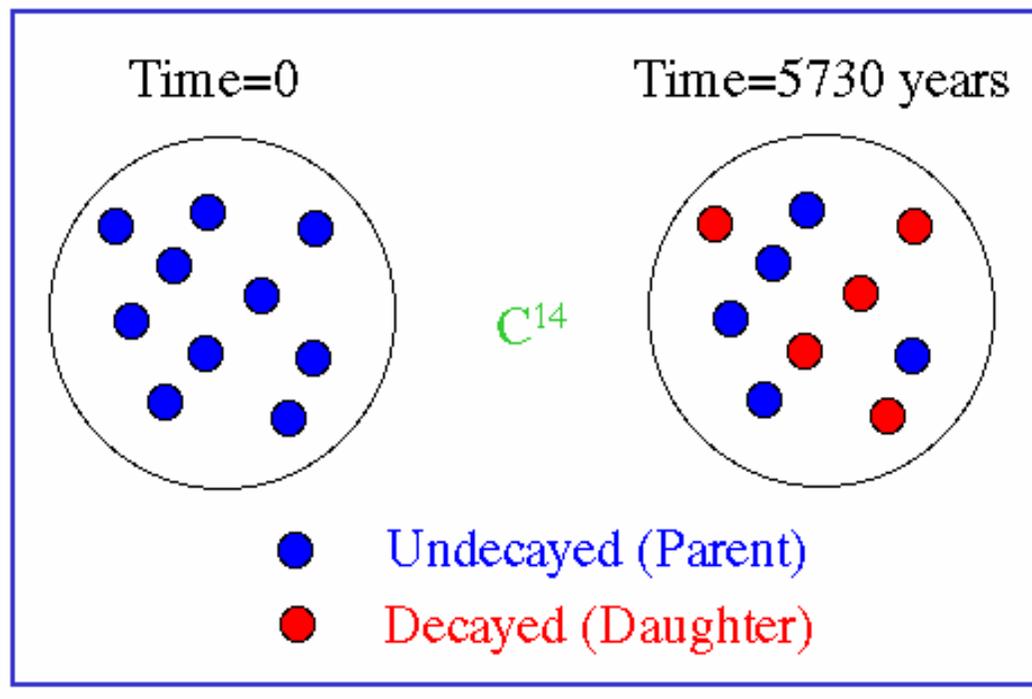
Decadimento del ^{210}Bi ($T_{1/2}=5\text{d}$)





Decadimento del ^{14}C ($T_{1/2}=5730\text{ y}$)

Nuclear Decay





Legge del Decadimento Radioattivo

- Gli isotopi radioattivi decadono in maniera casuale con un tempo di dimezzamento definito da:

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda \times t)$$

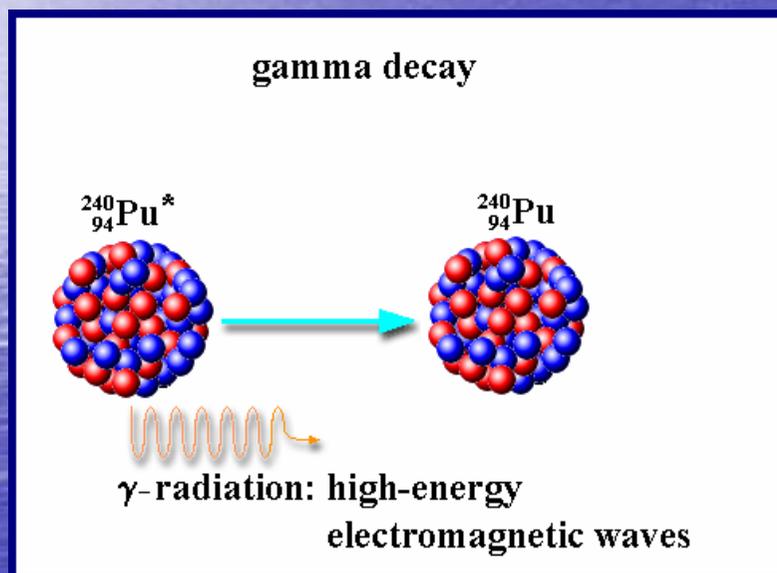
- Dove $N(t)$ è il numero di nuclei radioattivi al tempo t , N_0 è il numero iniziale di nuclei radioattivi e

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

Unità	1 Bequerel = 1 decadimento per secondo
	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

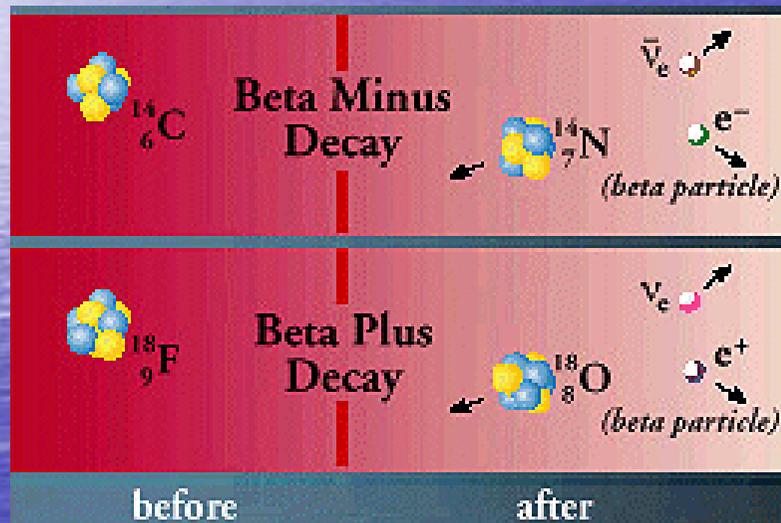


Decadimento GAMMA (γ)



- Una particella γ è un fotone. E' prodotto di passaggio in una catena di decadimento radioattivo in cui un nucleo massiccio prodotto da un fenomeno di fissione si rilassa dallo stato eccitato in cui inizialmente si è formato verso la sua energia più bassa o stato di equilibrio.

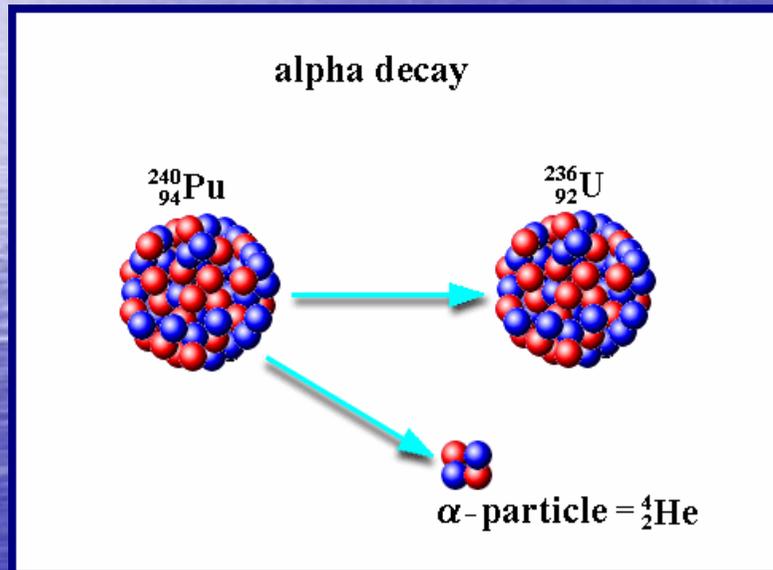
Decadimento BETA (β)



- Una particella β è un elettrone. Emerge da un processo di decadimento regolato dall'interazione debole in cui un neutrone, all'interno di un atomo, decade per produrre un protone, l'elettrone β e un antineutrino.
- Alcuni nuclei sperimentano il decadimento β^+ in cui un protone decade in un neutrone, un positrone (antielettrone o β^+) e un neutrino



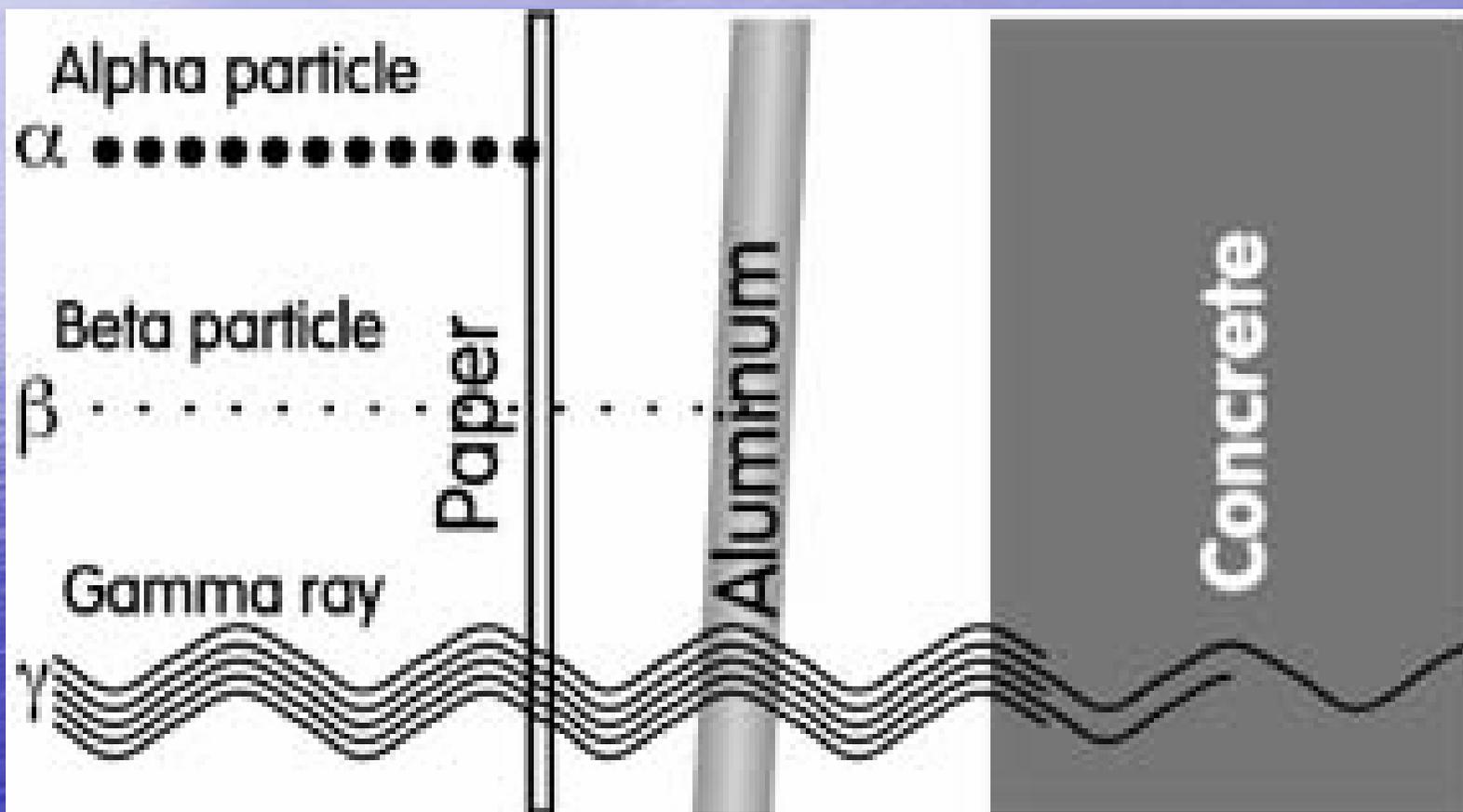
Decadimento ALFA (α)



- Una particella α è un nucleo di Elio (2 p + 2n). E' prodotta da una fissione nucleare in cui un nucleo massiccio si spezza in due nuclei più leggeri (uno dei quali è la particella α). E' un processo regolato dall'interazione forte.

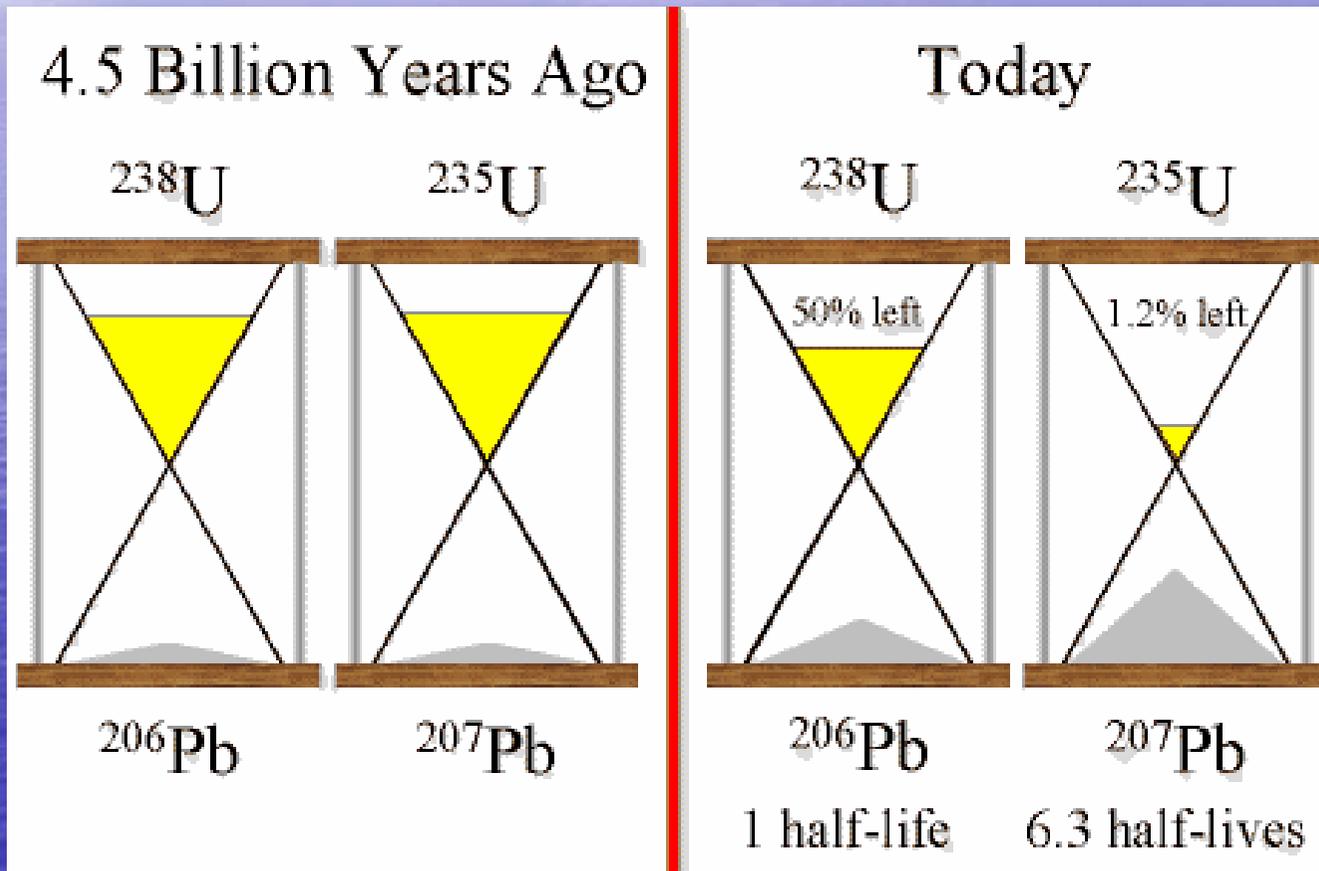


Schermature per radiazioni α , β e γ





Decadimento dell'U238





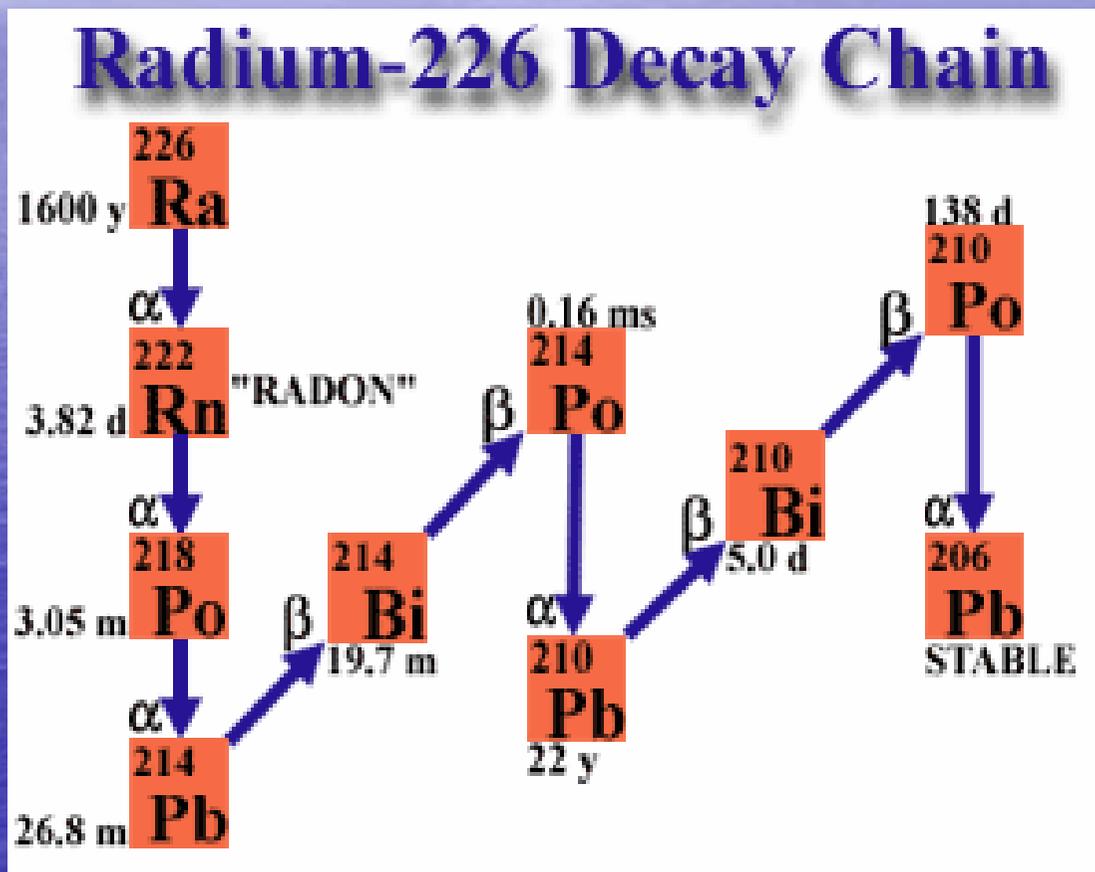
Schema di Decadimento dell'U-238

URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY

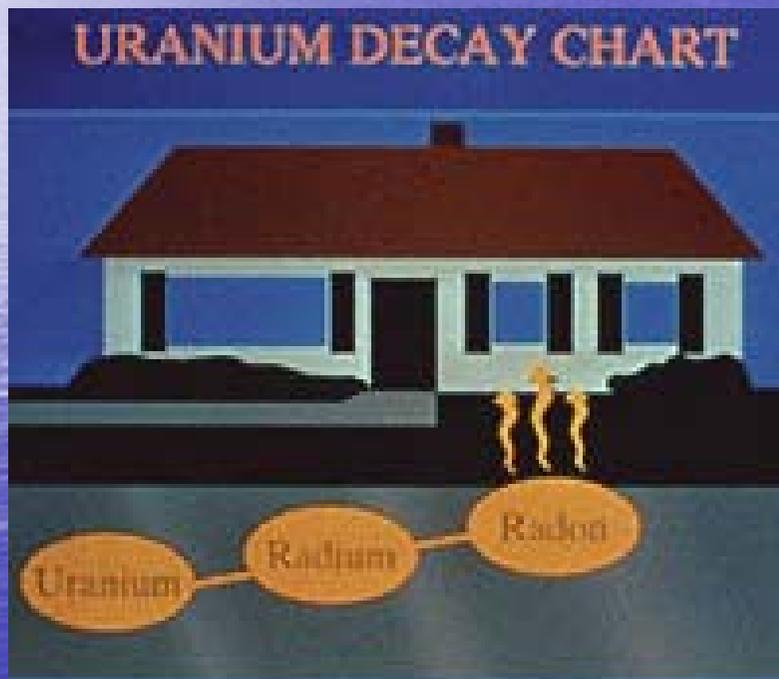
type of radiation	nuclide	half-life
	 uranium—238	4.5×10^9 years
α	 thorium—234	24.5 days
β	 protactinium—234	1.14 minutes
β	 uranium—234	2.33×10^5 years
α	 thorium—230	8.3×10^4 years
α	 radium—226	1590 years
α	 radon—222	3.825 days
α		



Schema di decadimento del RADON

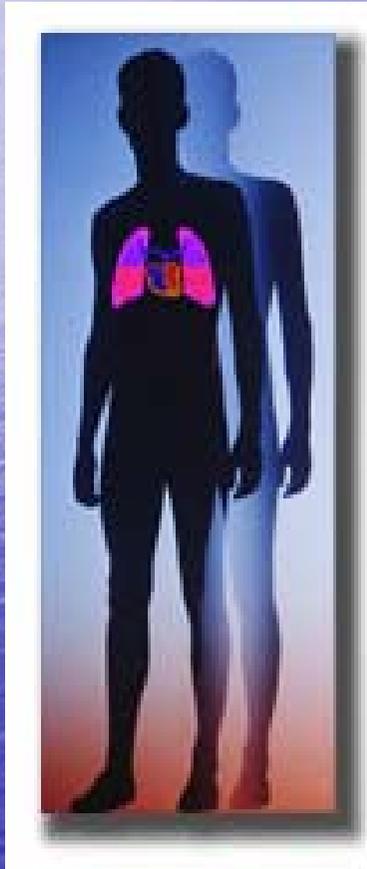


Concentrazione del RADON



- Il radon è un gas radioattivo. Deriva dal decadimento naturale dell'uranio che si trova praticamente in tutti i tipi di terreno. Risale dal suolo verso l'aria e nelle case attraverso fessure e buchi nelle fondamenta. Gli ambienti sotterranei possono intrappolare il radon al loro interno dove si può accumulare.

Concentrazione dei prodotti di decadimento del radon nei polmoni



- I prodotti di decadimento del radon sono α , β e γ emettitori.
- Questi prodotti non sono gassosi, ma solidi che si formano nell'aria in presenza di radon.
- Essi sono dotati di carica elettrica e possono quindi essere attratti da ogni oggetto, incluse le particelle di polvere nell'aria .
- Con la respirazione queste particelle possono venire intrappolate nei polmoni.