

# FISICA NUCLEARE

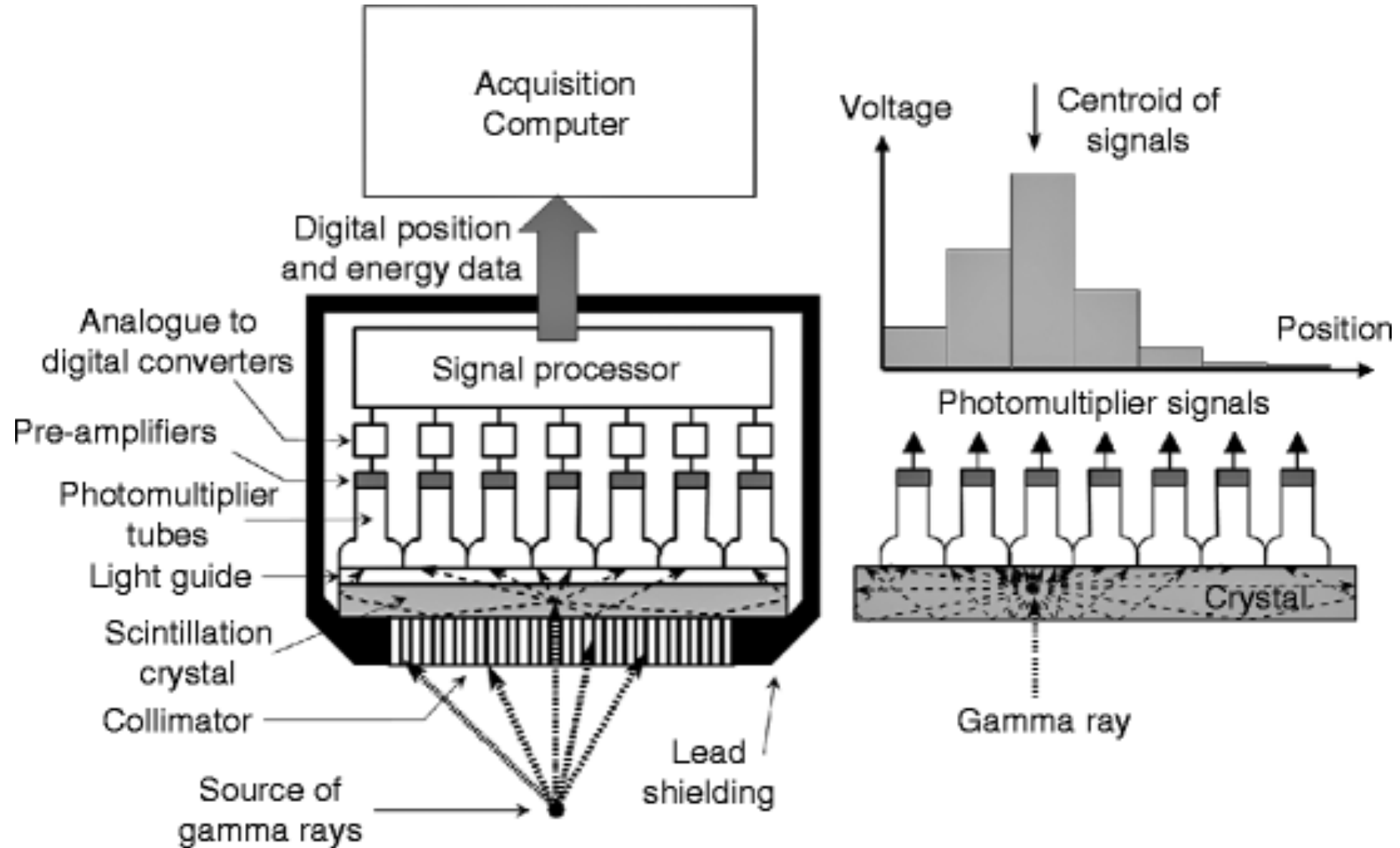
- Radioisotopi e medicina nucleare
  - Diagnostica per immagini
    - La SPECT
    - La PET
    - Attività tipiche
  - Produzione di radioisotopi

## Radioisotopi e medicina nucleare

- Diagnostica con raggi  $X$   $\Rightarrow$  attenuazione fasci  $\Rightarrow$  informazioni **anatomiche**
- Introducendo nel corpo sorgenti radioattive in quantità minime ( $\sim 10^{-9}$  g) per evitare effetti tossici, ma sufficienti a rivelare radiazione  $\gamma$   $\Rightarrow$  **anche** informazioni **fisiologiche**
- **Radionuclide** legato a molecole, **tracciatori**, che lo veicolano nel corpo e sono assorbite da organi e tessuti che si vogliono studiare
- Radionuclide può essere di per sé selettivo per l'organo in studio, come lo iodio per la tiroide. Radioisotopi non selettivi, come  $^{99}_{43}\text{Tc}$ , devono essere legati a opportune sostanze veicolanti. La miscela **radioisotopo + sostanza veicolante** è il **radiofarmaco**
- Quando radiofarmaco ha raggiunto **condizione bio-equilibrio** con organo da studiare, si rilevano i  $\gamma$  per ottenere immagini diagnostiche utilizzando una  **$\gamma$ -camera**
- Radiofarmaco è trasportato nell'organismo **meccanicamente** (... flusso sanguigno) o con **processi metabolici**, come per lo iodio
- Assorbimento tracciatore in un organo può dipendere da patologie. Misura radiazione emessa dà quantità tracciatore assorbito e sua distribuzione nei tessuti

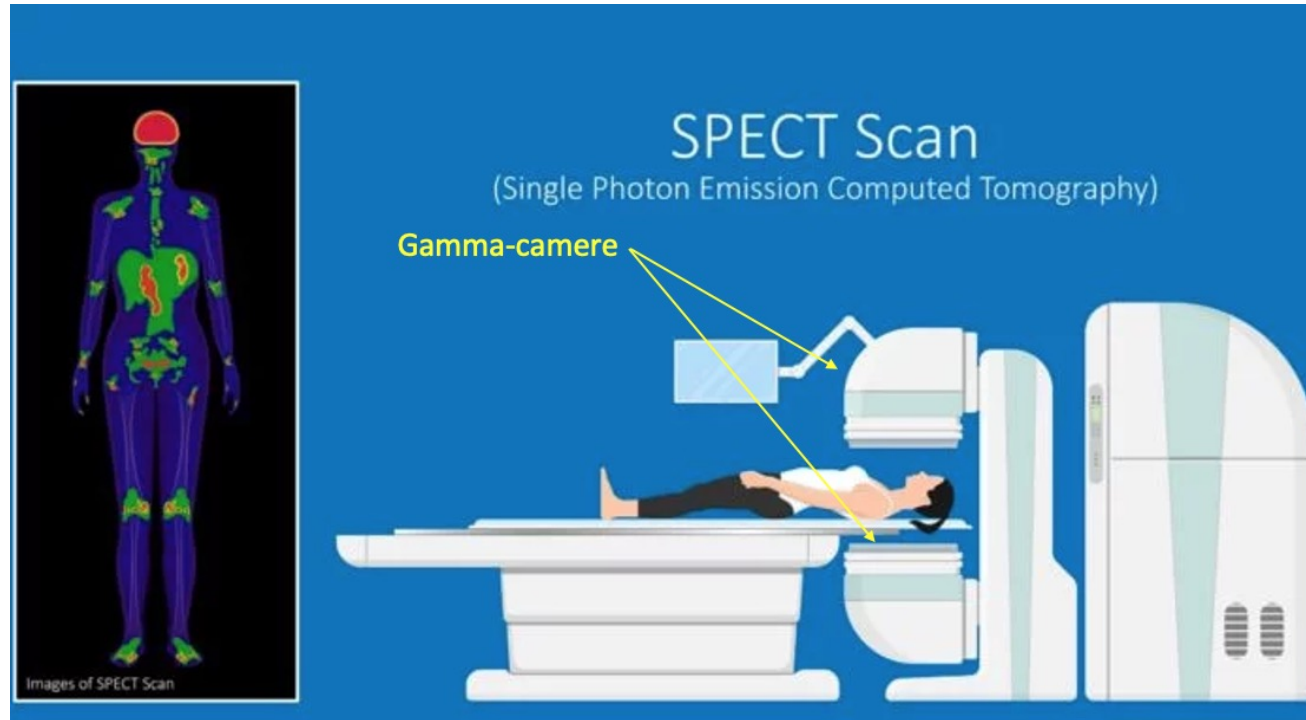
- $X$  fortemente assorbiti da tessuto osseo  $\Rightarrow$  difficile usarli per indagare cervello.  $\gamma$  da radioisotopi presenti nel cranio attraversano invece una sola volta tessuto osseo per essere raccolti a formare immagine
- In radiografia  $X$  assorbimento radiazione è essenziale per ottenere immagini, basate su contrasto dai diversi livelli di assorbimento nei diversi tessuti
- Con radioisotopi, assorbimento  $\gamma$  nei tessuti è fattore negativo (riduce numero  $\gamma$  utili)  $\Rightarrow$  preferibile utilizzare radiazioni con energie che ne riducano assorbimento. Per efficace resa nelle immagini, fondo naturale dei tessuti  $\ll$  radioattività dei radioisotopi introdotti
- Il soddisfare a queste condizioni concomitanti si abbina a quella fondamentale di danneggiare meno possibile i tessuti interessati con la radioattività dei radionuclidi utilizzati:
  - radionuclide resti nel corpo solo tempo necessario ad effettuare esame, o comunque il meno possibile
  - sia poi espulso, o comunque abbia vita media breve, compatibile con tempi necessari all'esame medico, e anche per evitare inquinamento radioattivo ambientale una volta espulso.

# Gamma Camera



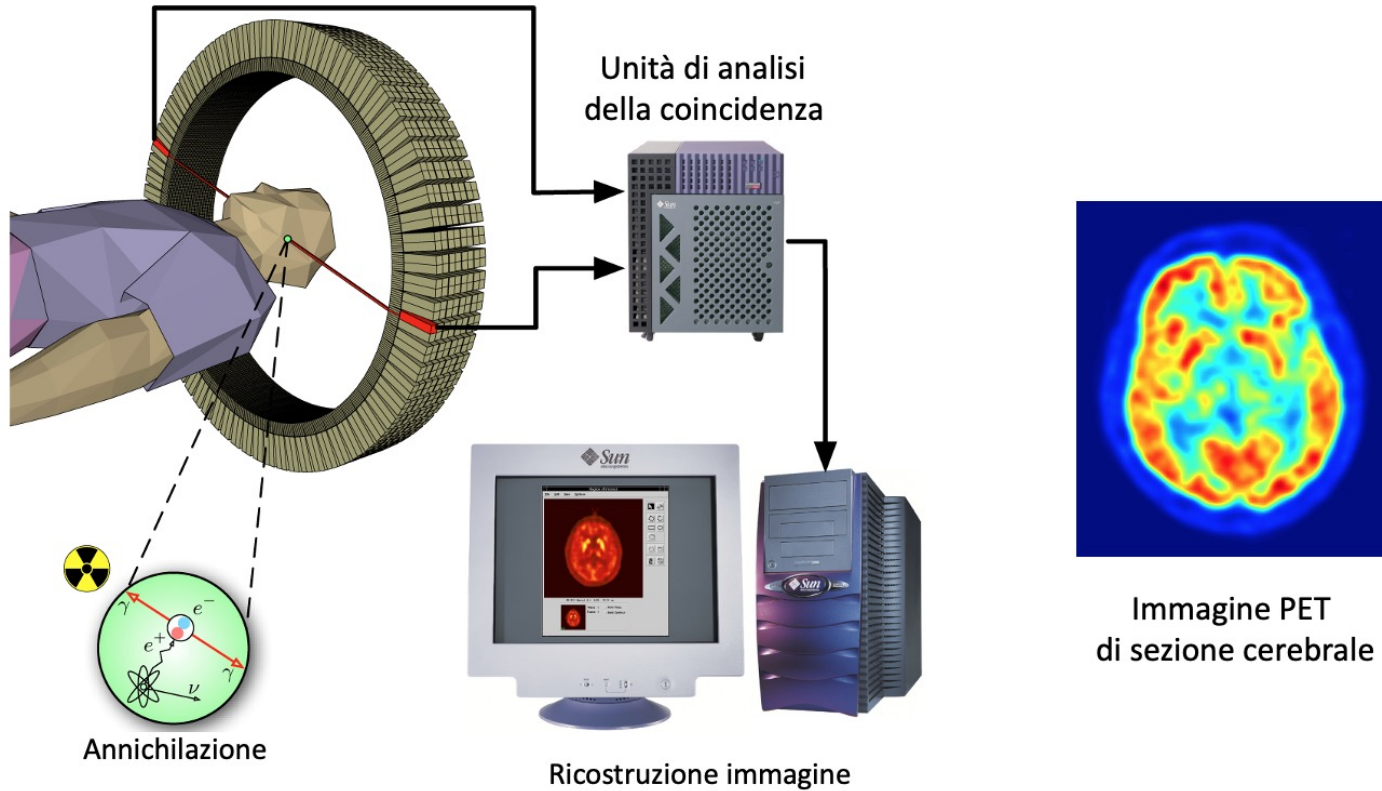
# Diagnostica per immagini

## La SPECT



- Tecnica tomografica imaging della medicina nucleare, utilizza  $\gamma$  da radiofarmaci rivelandoli con  $\gamma$ -camere
  - Dà anche informazioni biotopologiche 3-d sotto forma di sezioni assiali 2-d dell'organo esaminato
  - Immagini SPECT ruotando  $\gamma$ -camera attorno al paziente. Tempo per ogni proiezione  $\sim 15 \div 20$  s. Tempo totale scansione per un esame  $\sim 15 \div 20$  minuti.
  - Con più  $\gamma$ -camere contemporaneamente operative tempo si riduce proporzionalmente.
- Risoluzione spaziale immagini può essere inferiore rispetto immagini X, ma con uso di radioisotopi informazioni fisiologiche su funzionalità di molti organi  $\Rightarrow$  importante poiché spesso modificazioni funzionalità precedono alterazioni anatomiche, evidenziabili con una radiografia X
- **Esami con radioisotopi permettono quindi diagnosi anticipate**

## La PET



- Come SPECT informazioni fisiologiche e mappe processi funzionali globali o di specifici organi
- Studia patologie neoplastiche, diagnosi differenziali su demenze e **neuro-imaging** funzionale, indaga malattie reumatologiche e infettive, studia miocardio ibernato e perfusione cardiaca
- Quando radiofarmaco iniettato raggiunge una opportuna concentrazione nei tessuti, si posiziona il soggetto in apparato di scansione

- Isotopo a breve vita media decade  $\beta^+$  con  $e^+$  che entro pochi  $mm$ , annichila con  $e^-$  in una coppia di  $\gamma$  **b-to-b**, entrambi di **511 keV**.  $\gamma$  poi rivelati da scintillatore accoppiato a **p.m.**
- Cruciale rivelazione coppie di  $\gamma$  coincidenti in  $\Delta t$  di pochi **ns**. Da posizione in cui  $\gamma$  colpiscono rivelatore  $\Rightarrow$  si ricostruisce posizione, nell'organo indagato, da cui sono stati emessi.
  - Risoluz. spaziale e contrasto immagini migliorano, correggendo per **TOF** dei due  $\gamma$ .

## Attività tipiche

- Introduzione nel corpo di molecola o composto chimico cui è legato radioisotopo: **radiomarcatura**
- Radioisotopi utilizzati per imaging **devono** avere vita media confrontabile con tempi di misura
- Questi dell'ordine delle decine di minuti o poche ore, comunque tali da non implicare danni ai tessuti ⇒ ***i radioisotopi non sono disponibili in natura ma devono essere prodotti artificialmente***
- Tempi di trasporto da luogo produzione a quello d'utilizzo **devono essere brevi**, comunque tali da evitare eccessiva riduzione dell'attività specifica prima dell'immissione nei tessuti da studiare

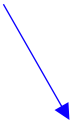
Tabella - Radioisotopi emettitori  $\gamma$  di uso comune

Nuclide	Isotopo	$t_{1/2}$	Energia dei $\gamma$ (KeV)
Tecnezio	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	6 h	140
Gallio	$^{67}_{31}\text{Ga}$	78.3 h	98, 184, 300
Indio	$^{111}_{49}\text{In}$	2.8 d	171, 245
Iodio	$^{123}_{53}\text{I}$	13 h	159
Iodio	$^{131}_{53}\text{I}$	8 d	364
Xeno	$^{133}_{54}\text{Xe}$	5.27 d	81
Tallio	$^{201}_{81}\text{Tl}$	73 h	68, 80.3

Importante calcolare attività radioisotopi utilizzati.

Numero di *disintegrazioni/s* d'un grammo di materiale radioattivo, ovvero sua **attività specifica**, è

metastabile



Ad es. per il  ${}_{43}^{99m}\text{Tc}$  si ha:

$$A_{sp} = \frac{N\lambda}{A} = \frac{N \ln 2}{A t_{1/2}} \simeq \frac{4.16 \times 10^{23}}{A t_{1/2}}$$

$$A_{sp} \left( {}_{43}^{99m}\text{Tc} \right) = \frac{4.16 \times 10^{23}}{99 \times 2.16 \times 10^4} \simeq 1.95 \times 10^{17} \quad \frac{\text{disintegrazioni}}{s \times g}$$

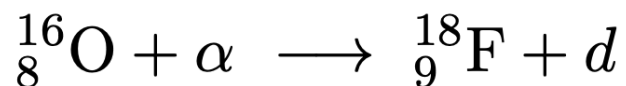
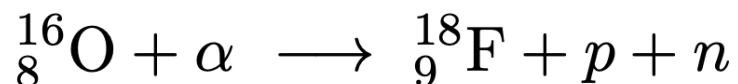
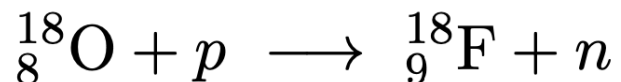
Un nano grammo ( $10^{-9}$  g) di  ${}_{43}^{99m}\text{Tc}$  produce quindi  $\sim 2 \times 10^8$  disintegrazioni al secondo, ovvero un'attività di **200 MBq**, equivalente a  **$\sim 5.4$  mCurie**.

Un tipico esame con uso del tecnezio richiede un'attività dell'ordine di **600 MBq**, con utilizzo quindi di circa **3 nano grammi** di radioisotopo, nel tessuto da esaminare.

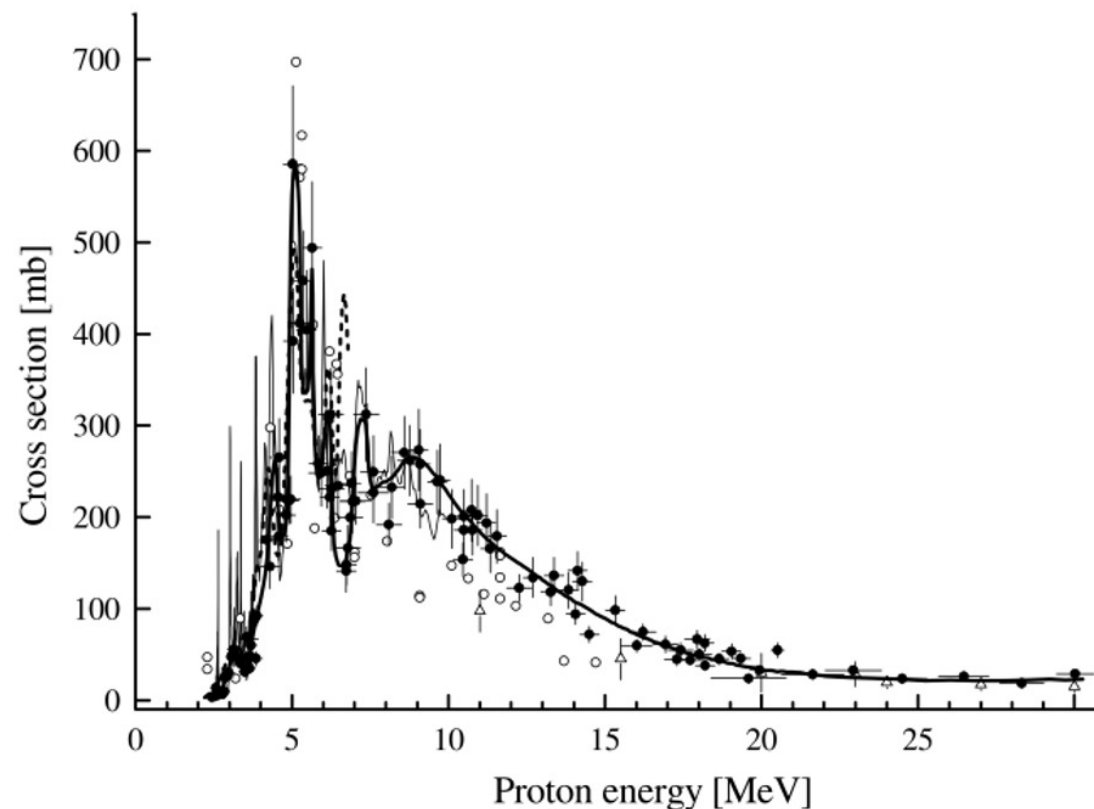


## Produzione di radioisotopi

- **Irradiano nuclei stabili con fasci di  $p$**  o altri nuclei leggeri da **ciclotrone**. Il tracciatore  $^{18}_9\text{F}$ , con vita media  **$\beta^+$**  di circa **2 h**, si ottiene da

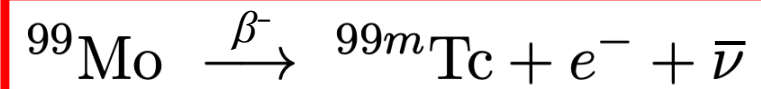


Reazioni su  $^{16}\text{O}$  con energie di soglia 23.2 MeV e 20.4 MeV. Sezione d'urto della prima, **in figura**; per le altre due, a energie  **$\sim 30$  MeV**, sezione d'urto  **$\sim 100$  mb**. Bersaglio è acqua arricchita in  $^{18}\text{O}$  nel primo caso e **sola acqua** negli altri due.



- **Neutroni da reattore:**  $^{98}_{42}\text{Mo}(n, \gamma) \longrightarrow ^{99}_{42}\text{Mo}$  ,  $^{235}_{92}\text{U}(n, \text{fissione}) \longrightarrow ^{99}_{42}\text{Mo}$   
dove  $^{99}_{42}\text{Mo}$   $\beta$  instabile con vita media  **$\sim 67$  h**

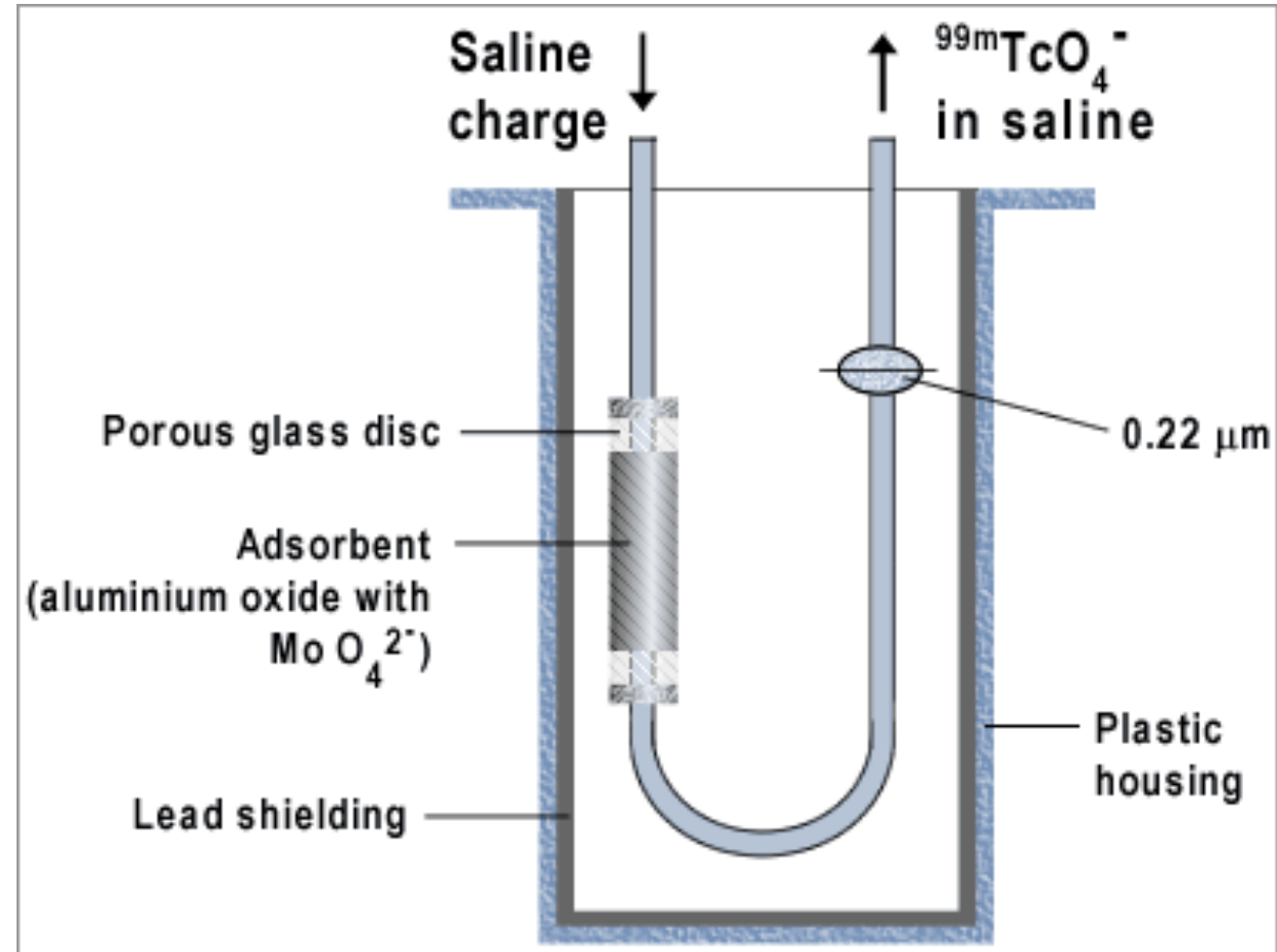
$^{99}\text{Mo}$  può essere utilizzato per produrre  $^{99m}\text{Tc}$  tramite **generatore di tecnezio**, contenitore a colonna in cui  $^{99}\text{Mo}$ , che funge da **nucleo genitore**, è adsorbito in ossido di alluminio



$^{99}\text{Mo}$  decade  $\beta^-$  in tecnezio metastabile che a sua volta decade  $\gamma$  con  $\tau = 6 \text{ h}$ :  $^{99m}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc} + \gamma$

**Tc** che **non è** adsorbito nell'ossido di alluminio come **Mo**, viene poi estratto introducendo nel contenitore una soluzione salina che prelevata, risulta ricca di **sodio pertecnetato**

**Generatore** permette trasporto verso zone di utilizzo del  $^{99m}\text{Tc}$  sfruttando intermediazione  $^{99}\text{Mo}$ , che ha  $\tau \sim 10$  volte superiore



**Produzione di radioisotopi coinvolge posizionamento rispetto ad equilibrio, per produzione e concomitante decadimento del prodotto**

- Come visto si può raggiungere equilibrio se rateo  $R$  della produzione coincide col valore assoluto del rateo di decadimento  $\lambda N(t)$

Ad es. si bombarda campione di nuclei stabili con particelle, da reattore o da acceleratore, che inducano trasmutazioni su  $R$  atomi/s verso elemento radioattivo che poi decade con cost.  $\lambda$

Bilanciamento fra  $R$  e  $-\lambda N(t)$   $\Rightarrow$   $\frac{dN(t)}{dt} = R - \lambda N(t)$  che se  $R = \text{cost.}$  diventa

$$\frac{d[R - \lambda N(t)]}{R - \lambda N(t)} = -\lambda dt$$

Integrandola con la condizione  $N(t=0) = 0$ , si ha

$$R - \lambda N(t) = [R - \lambda N(0)] e^{-\lambda t} \quad \Rightarrow \quad N(t) = \frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

da cui

$$A(t) = \lambda N(t) = R (1 - e^{-\lambda t})$$

**andamento a saturazione, tipico quando formazione e decadimento sono in competizione**

Se irraggiamento breve rispetto a  $\tau$  ( $t \ll \tau$ ) si espande exp. fino al termine lineare in  $t \Rightarrow A(t) \simeq R\lambda t$  :  
**attività cresce a rateo  $\sim$  costante**. Accumulo nuclei prodotti quindi  **$\sim$  lineare nel tempo** e non viene significativamente intaccato dai decadimenti.

Per  $t \gg \tau$  **exp.  $\rightarrow 0$**  e attività si mantiene  **$\sim$  costante**

$$A \approx R, \quad \text{per } t \gg \tau$$

Esempio di **equilibrio secolare** !

- Se si irradia un campione per un certo tempo e poi lo si toglie dalla zona d'irraggiamento, da quel momento mostrerà diminuzione dell'attività con andamento exp. decrescente
- Per produrre un campione utilizzabile quindi sufficiente irradiare per un tempo di  **$\sim$  di 2 ÷ 3 vite medie**