

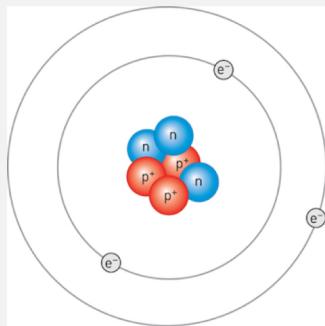
# Biofizika I

## 13. Magsugárzások

Liliom Károly

2022. 12. 01.

*liliom.karoly@med.semmelweis-univ.hu  
karoly.liliom.mta@gmail.com*



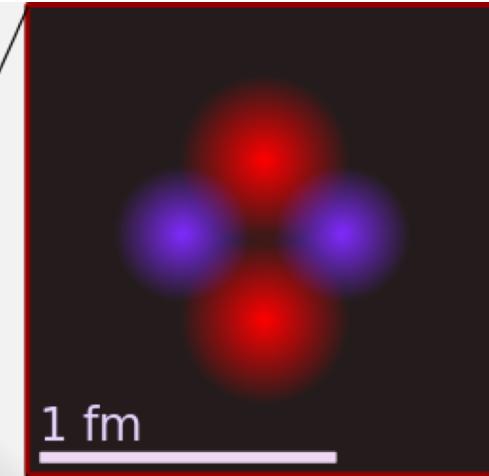
# Az atomok alkotórészei

| Particle | Symbol | Resting Energy (MeV) | Relative Charge* | Mass (kg)                | Relative Mass (AMU)**   |
|----------|--------|----------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|
| electron | e      | 0.51100              | 1-               | $9.11 \times 10^{-31}$   | $5.4858 \times 10^{-4}$ |
| proton   | p      | 938.272              | 1+               | $1.6726 \times 10^{-27}$ | 1.0072765               |
| neutron  | n      | 939.566              | 0                | $1.6749 \times 10^{-27}$ | 1.0086649               |

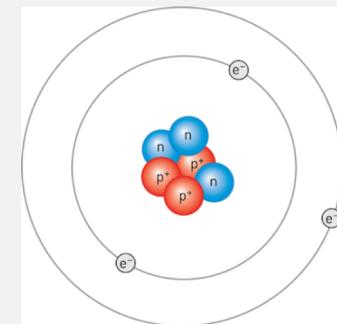
\* elektronok töltése (elemi töltés):  $-1.602 \times 10^{-19} C$

\*\* Atomtömeg-egység: ( $^{12}C$ ) atom 1/12-ed része

# Az atommag mérete



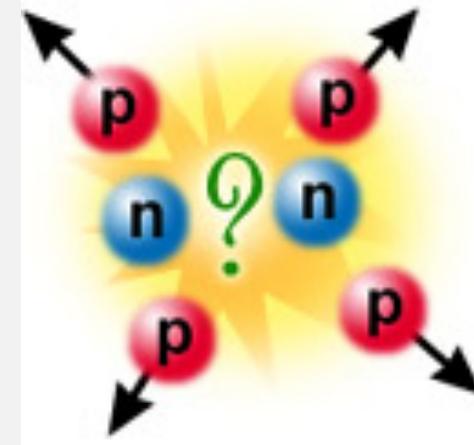
$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$



# Atommag stabilitása

Protonok között erős az elektrosztatikus taszítás!  
(mi tartja egyben a magot)

Kell, hogy legyen egy  
vonzóerő a magon belül!



Rutherford, 1911 – magerő: rövid hatótávolságú vonzóerő, független a töltéstől és erősebb a Coulomb-erőknél.

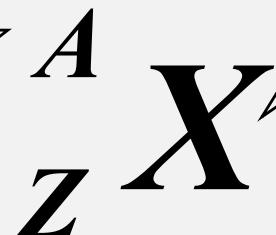
A neutron hipotézise (Chadwick 1932, Nobel-díj 1935)

# jelölések

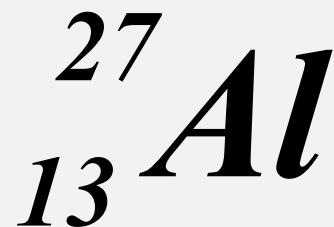
*tömegszám*

$$A = Z + N$$

*az elem kémiai szimbóluma*



*rendszám = protonok száma*



*N = neutronok száma*

*nukleon = proton vagy neutron*

# A mag stabilitása

$$\Delta M = [Zm_p + (A-Z)m_n] - M(A,Z)$$

**Tömegdefektus:** az atommag tömege kisebb, mint az alkotó protonok és neutronok tömegeinek összege! A különbség Einstein tömeg-energia egyenértékűségi elvvel magyarázható:

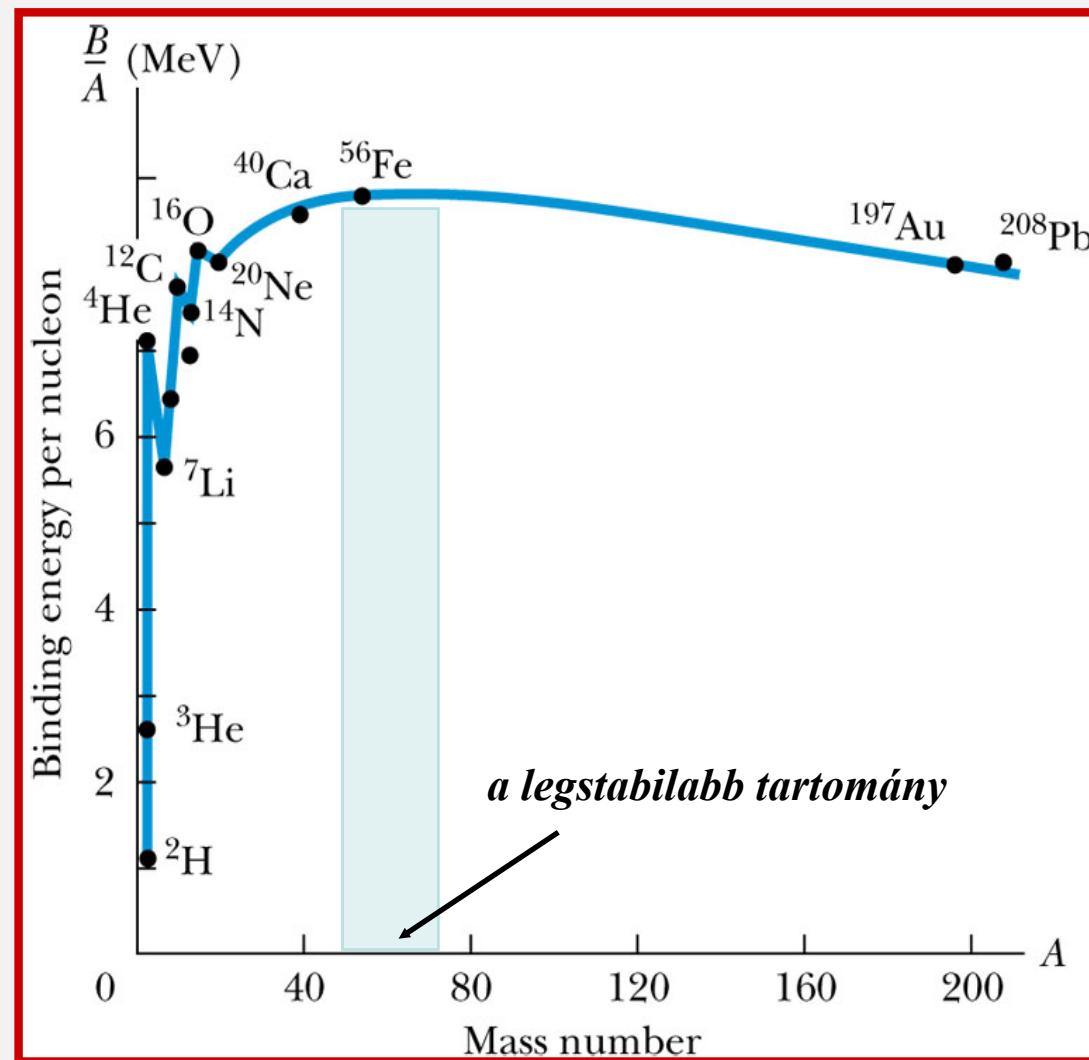
$$\Delta E = \Delta Mc^2$$

A tömegdefektus = a kötési energia tömegegységben kifejezve.

# Nukleonokra eső kötési energia

- Kis tömegszámoknál gyors növekedés
- Éles csúcsok páros-páros magoknál:  
 ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$ , and  ${}^{16}_8\text{O}$
- Maximum kb A=56

nukleon = proton vagy neutron



# Izotópok

Görög *isos topos* = *azonos hely*

Egy elem izotópjai:

- azonos protonszámúak
- különböző neutronszámúak
- különböző tömegszámúak

# izotóp = azonos rendszám

## Mendeleev's Periodic Table of Elements

| 1<br>IA                           | Table of Common Polyatomic Ions |   |             |   |                   |             |               |          |             |               |                       |             |               |                       |             |               |                       |             | Element categories | State of matter at 25 °C |  |  |  |  |  |  | 18<br>VIIIA |
|-----------------------------------|---------------------------------|---|-------------|---|-------------------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|-----------------------|-------------|---------------|-----------------------|-------------|---------------|-----------------------|-------------|--------------------|--------------------------|--|--|--|--|--|--|-------------|
| 1<br>H<br>1.008<br>1              | acetate                         | C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> <sup>-</sup> | silicate    | SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>              | Gas               | B           | 13<br>III A   | Liquid   | C           | 14<br>IV A    | Solid                 | N           | 15<br>VA      | Artificially prepared | O           | 16<br>VIA     | Unknown               | F           | He                 | 0                        |  |  |  |  |  |  |             |
| 2<br>Be<br>9.0122<br>2            | chlorate                        | ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                             | sulfate     | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | Alkali metals     | 17<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 18<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 | Alkaline-earth metals | 19<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 | Transition metals     | Ne          | 20.179<br>2-8 | Other metals          | 21<br>VIIA  | 4.003<br>2         |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 3<br>Li<br>6.941<br>2-1           | hydroxide                       | OH <sup>-</sup>   | thiosulfate | S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | Semiconductors    | 22<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 23<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 | Halogens              | 24<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 | Halogens              | 25<br>VIIA  | 4.003<br>2    | Noble gases           | 26<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 4<br>Mg<br>24.305<br>2-2          | nitrate                         | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                              | arsenate    | AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>              | Other nonmetals   | 27<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 28<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 | Other nonmetals       | 29<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 | Other nonmetals       | 30<br>VIIA  | 4.003<br>2    | Other nonmetals       | 31<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 5<br>Na<br>22.990<br>2-3          | permanganate                    | MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                             | phosphate   | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>               | Alkali metals     | 32<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 33<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 | Alkaline-earth metals | 34<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 | Transition metals     | 35<br>VIIA  | 4.003<br>2    | Alkaline-earth metals | 36<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 6<br>K<br>39.098<br>2-4           | carbonate                       | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                             | ammonium    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                | Transition metals | 37<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 38<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 | Transition metals     | 39<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 | Transition metals     | 40<br>VIIA  | 4.003<br>2    | Transition metals     | 41<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 7<br>Ca<br>40.078<br>2-5          | chromate                        | CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                            | hydronium   | H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>               | Other metals      | 42<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 43<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 | Other metals          | 44<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 | Other metals          | 45<br>VIIA  | 4.003<br>2    | Other metals          | 46<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 8<br>Mg<br>24.305<br>2-2          | dichromate                      | Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>              |             |   |                   | 47<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 48<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 49<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 50<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 51<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 9<br>Sc<br>44.956<br>2-3          |                                 |   |             |   |                   | 52<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 53<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 54<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 55<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 56<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 10<br>Ti<br>47.867<br>2-4         |                                 |   |             |   |                   | 57<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 58<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 59<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 60<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 61<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 11<br>V<br>50.942<br>2-5          |                                 |   |             |   |                   | 62<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 63<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 64<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 65<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 66<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 12<br>Cr<br>51.996<br>2-6         |                                 |   |             |   |                   | 67<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 68<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 69<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 70<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 71<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 13<br>Mn<br>54.938<br>2-7         |                                 |   |             |   |                   | 72<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 73<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 74<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 75<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 76<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 14<br>Fe<br>55.845<br>2-8         |                                 |   |             |   |                   | 77<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 78<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 79<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 80<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 81<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 15<br>Co<br>58.933<br>2-9         |                                 |   |             |   |                   | 82<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 83<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 84<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 85<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 86<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 16<br>Ni<br>58.693<br>2-10        |                                 |   |             |   |                   | 87<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 88<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 89<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 90<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 91<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 17<br>Cu<br>63.546<br>2-11        |                                 |   |             |   |                   | 92<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 93<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 94<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 95<br>VIIA  | 4.003<br>2    |                       | 96<br>VIIA  | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 18<br>Zn<br>65.39<br>2-12         |                                 |   |             |   |                   | 97<br>VIIA  | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 98<br>VIIA  | 18.998<br>2-7 |                       | 99<br>VIIA  | 12.011<br>2-4 |                       | 100<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 101<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 19<br>Ga<br>69.723<br>2-13        |                                 |   |             |   |                   | 102<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 103<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 104<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 105<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 106<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 20<br>Ge<br>72.64<br>2-14         |                                 |   |             |   |                   | 107<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 108<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 109<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 110<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 111<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 21<br>As<br>74.922<br>2-15        |                                 |   |             |   |                   | 112<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 113<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 114<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 115<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 116<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 22<br>Se<br>78.96<br>2-16         |                                 |   |             |   |                   | 116<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 117<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 118<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 119<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 120<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 23<br>Br<br>79.904<br>2-17        |                                 |   |             |   |                   | 119<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 120<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 121<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 122<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 123<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 24<br>Kr<br>83.80<br>2-18         |                                 |   |             |   |                   | 122<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 123<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 124<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 125<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 126<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 25<br>Rb<br>85.468<br>2-19        |                                 |   |             |   |                   | 126<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 127<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 128<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 129<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 130<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 26<br>Sr<br>87.62<br>2-20         |                                 |   |             |   |                   | 129<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 130<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 131<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 132<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 133<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 27<br>Y<br>88.906<br>2-21         |                                 |   |             |   |                   | 132<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 133<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 134<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 135<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 136<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 28<br>Ba<br>137.33<br>2-22        |                                 |   |             |   |                   | 135<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 136<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 137<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 138<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 139<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 29<br>Cs<br>132.91<br>2-23        |                                 |   |             |   |                   | 138<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 139<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 140<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 141<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 142<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 30<br>Fr<br>(223)<br>18.32-18.8-1 |                                 |   |             |   |                   | 142<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 143<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 144<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 145<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 146<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 31<br>Ra<br>(226)<br>18.32-18.8-2 |                                 |   |             |   |                   | 146<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 147<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 148<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 149<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 150<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 32<br>Rf<br>(261)                 |                                 |   |             |   |                   | 150<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 151<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 152<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 153<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 154<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 33<br>Db<br>(262)                 |                                 |   |             |   |                   | 154<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 155<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 156<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 157<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 158<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 34<br>Sg<br>(266)                 |                                 |   |             |   |                   | 158<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 159<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 160<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 161<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 162<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 35<br>Bh<br>(264)                 |                                 |   |             |   |                   | 162<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 163<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 164<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 165<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 166<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 36<br>Hs<br>(277)                 |                                 |   |             |   |                   | 166<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 167<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 168<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 169<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 170<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 37<br>Mt<br>(268)                 |                                 |   |             |   |                   | 169<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 170<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 171<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 172<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 173<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 38<br>Uuu<br>(281)                |                                 |   |             |   |                   | 172<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 173<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 174<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 175<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 176<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 39<br>Uub<br>(272)                |                                 |   |             |   |                   | 174<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 175<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 176<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 177<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 178<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 40<br>Uun<br>(285)                |                                 |   |             |   |                   | 176<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 177<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 178<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 179<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 180<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 41<br>Uut<br>(284)                |                                 |   |             |   |                   | 178<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 179<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 180<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 181<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 182<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 42<br>Uq<br>(289)                 |                                 |   |             |   |                   | 180<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 181<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 182<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 183<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 184<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 43<br>Uup<br>(288)                |                                 |   |             |   |                   | 182<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 183<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 184<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 185<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 186<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 44<br>Uuh<br>(291)                |                                 |   |             |   |                   | 184<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 185<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 186<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 187<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 188<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 45<br>Uus<br>(294)                |                                 |   |             |   |                   | 186<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 187<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 188<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 189<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 190<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 46<br>Sc<br>44.956<br>2-3         |                                 |   |             |   |                   | 189<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 190<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 191<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 192<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 193<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 47<br>Ce<br>140.12<br>2-4         |                                 |   |             |   |                   | 192<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 193<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 194<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 195<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 196<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 48<br>Pr<br>140.91<br>2-5         |                                 |   |             |   |                   | 194<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 195<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 196<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 197<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 198<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 49<br>Nd<br>144.24<br>2-6         |                                 |   |             |   |                   | 196<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 197<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 198<br>VIIA | 12.011<br>2-4 |                       | 199<br>VIIA | 4.003<br>2    |                       | 200<br>VIIA | 20.179<br>2-8      |                          |  |  |  |  |  |  |             |
| 50<br>Pm<br>(145)                 |                                 |   |             |   |                   | 198<br>VIIA | 10.811<br>2-3 | Hydrogen | 199<br>VIIA | 18.998<br>2-7 |                       | 201<br>VIIA | 12.           |                       |             |               |                       |             |                    |                          |  |  |  |  |  |  |             |

# Atommag stabilitási diagramja

- könnyű magok stabilak, ha

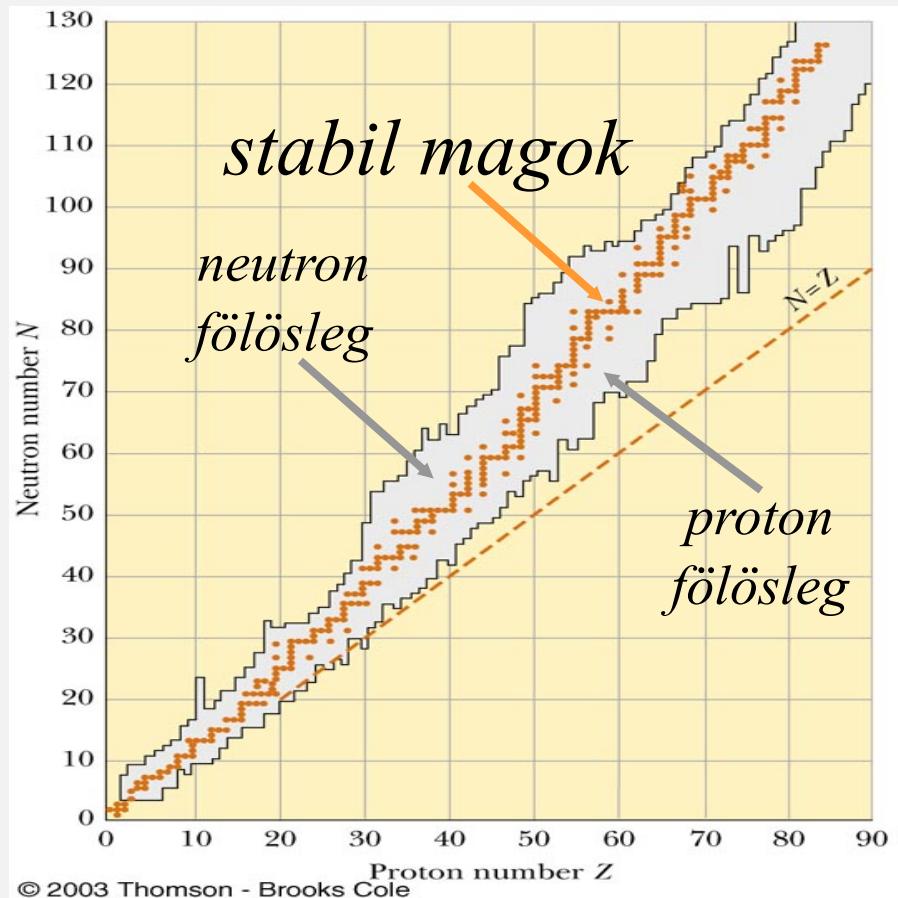
$$N = Z$$

- nehéz magok stabilak, ha

$$N > Z$$

a protonszám növelésével növekszik  
a Coulomb-féle taszítóerő, így  
több neutron kell a mag egyben  
tartására

- Nincs stabil mag, ha  $Z > 83$



*Mi történik, ha a mag nem stabil?*

# Radioaktív bomlás



*Antoine Becquerel*  
1903 fizikai Nobel-díj a  
radioaktivitás felfedezéséért



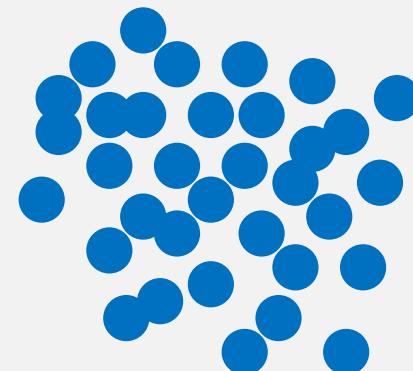
Becquerel fotólemeze, ami a fölé tett urániumsó sugárzása miatt exponálódott. A lemez és az urániumsó közé helyezett fém máltai kereszt jól kivehető (1896).

# Radioaktív bomlás

- *Radioaktivitás*: az energia spontán kibocsájtása részecskék vagy elektromágneses sugárzás útján
- a nem stabil atommagok bomlása hozza létre
- háromféle sugárzás keletkezhet
  - Alfa ( $\alpha$ ) részecske
  - Béta ( $\beta$ ) részecske
  - Gamma ( $\gamma$ ) sugarak

# Radioaktív bomlás jellemzői

- statisztikai folyamat – az egyedi bomlások véletlenszerűen követik egymást
- a bomlásra képes magok száma csökken az idővel



# A radioaktív bomlás jellemzői

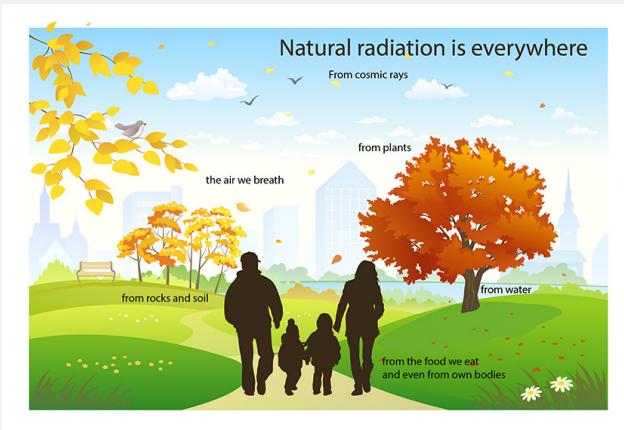
$$\text{Aktivitás: } \Lambda = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|$$

*N: még el nem bomlott magok száma  
t: idő*

*Aktivitás = egységnyi idő alatt elbomlott magok száma*

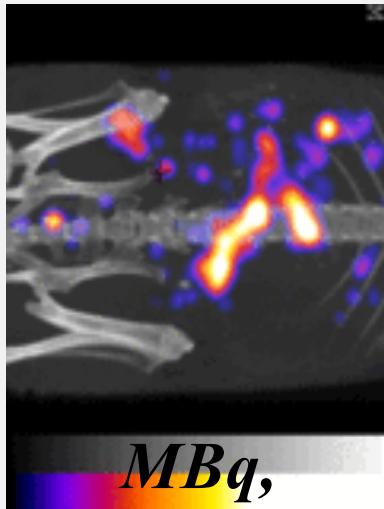
*egysége: becquerel (Bq)    1Bq = 1 bomlás/s*

*háttérsugárzás*



*kBq,*

*diagnosztika*



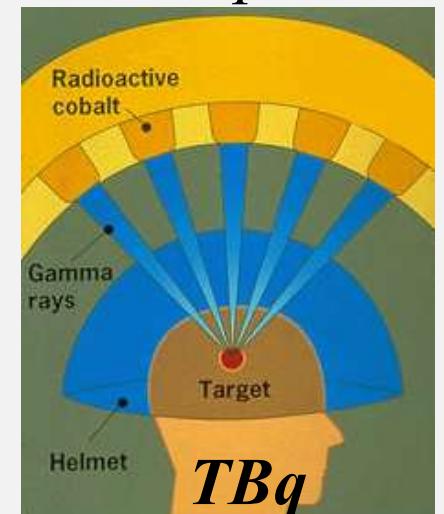
*MBq,*

*laboratóriumi gyakorlat*



*GBq,*

*terápia*



*TBq*

# Bomlástörvények

Differenciális alak:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

megoldás

$\lambda$ : bomlási állandó (1/s)

Integrális alak:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N_0$ : bomlásra képes (rádioaktív) magok száma t=0-kor,

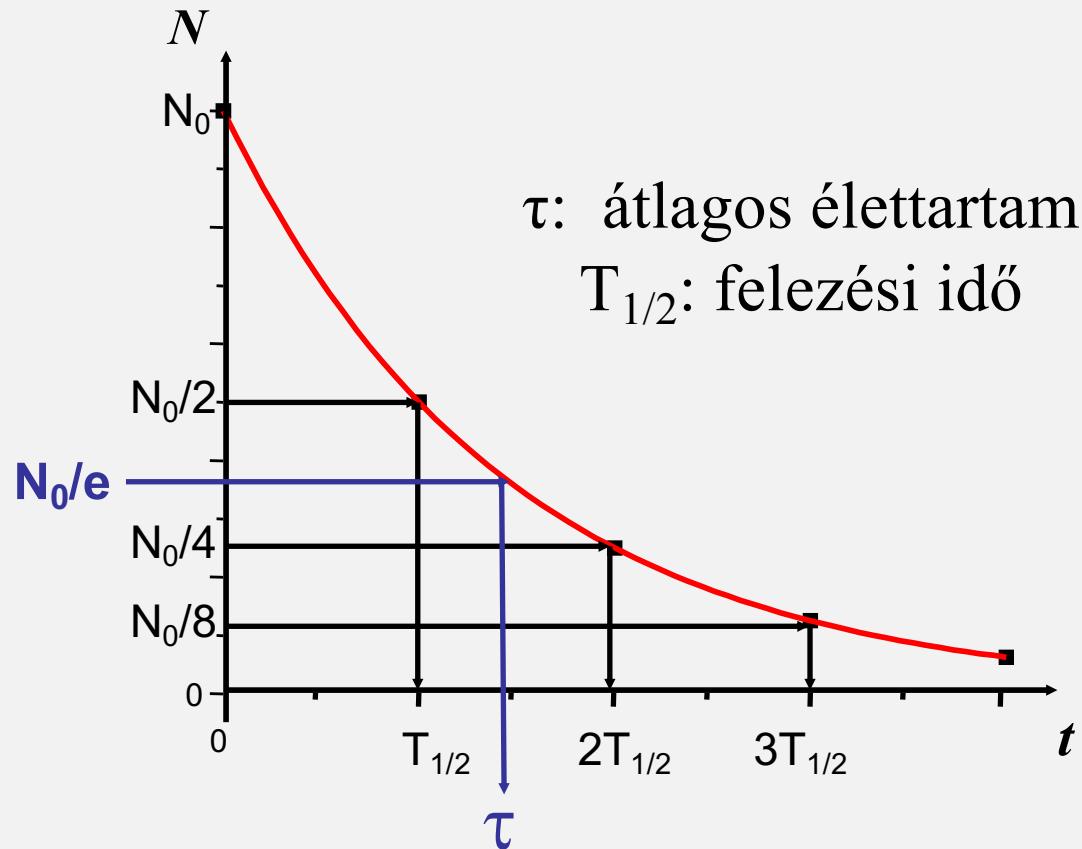
$N$ : nem elbomlott magok száma egy későbbi  $t$  időpontban

Az aktivitás az izotóp típusától és a kezdetben jelen lévő bomlásra képes atommagok számától is függ.

**Specifikus aktivitás:** egységnyi tömegű izotóp aktivitása (Bq/kg)

# Grafikus reprezentáció

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$



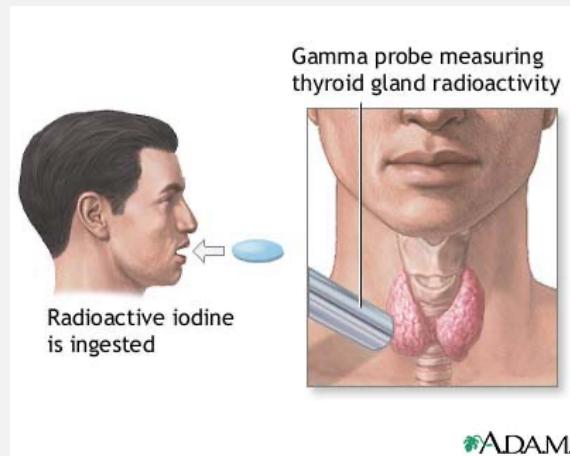
$$t = \tau$$

$$N_0 / e = N_0 e^{-\lambda \tau}$$

$$\lambda = \frac{1}{\tau}$$

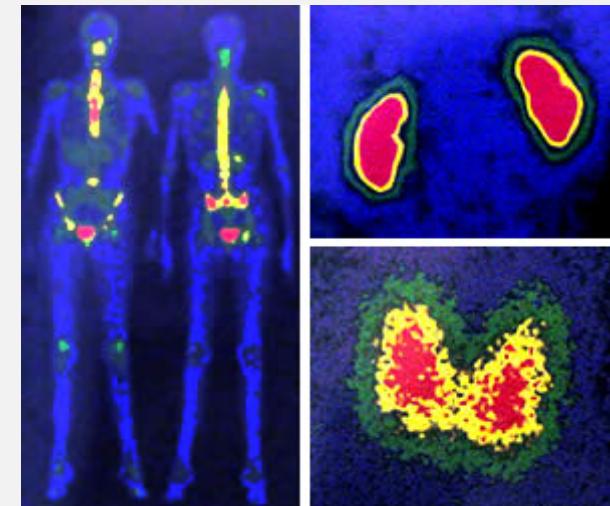
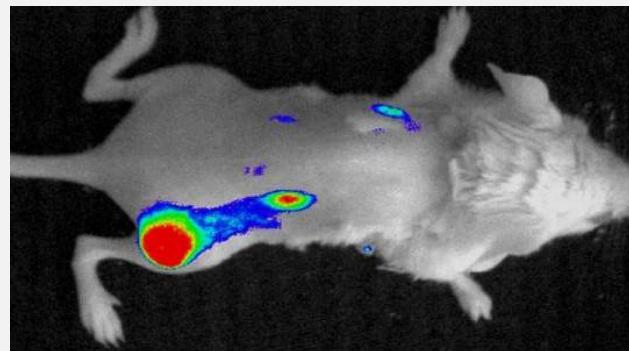
$$t = T_{1/2} \longrightarrow N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \longrightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

# Felezési idők a gyógyászatban



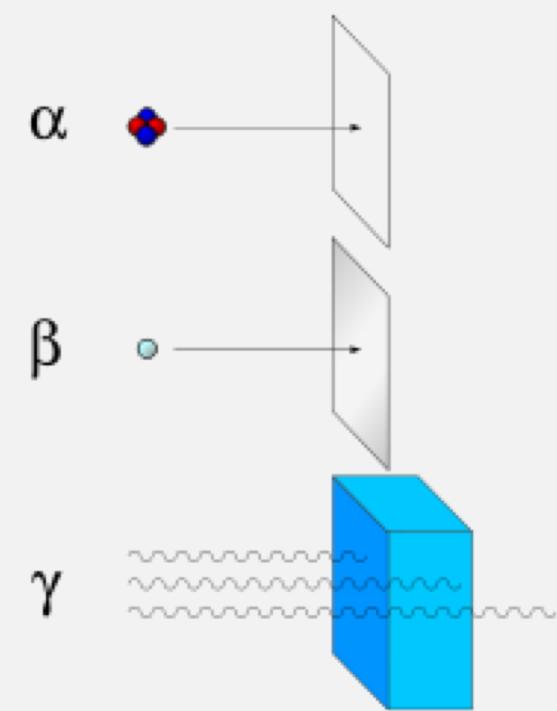
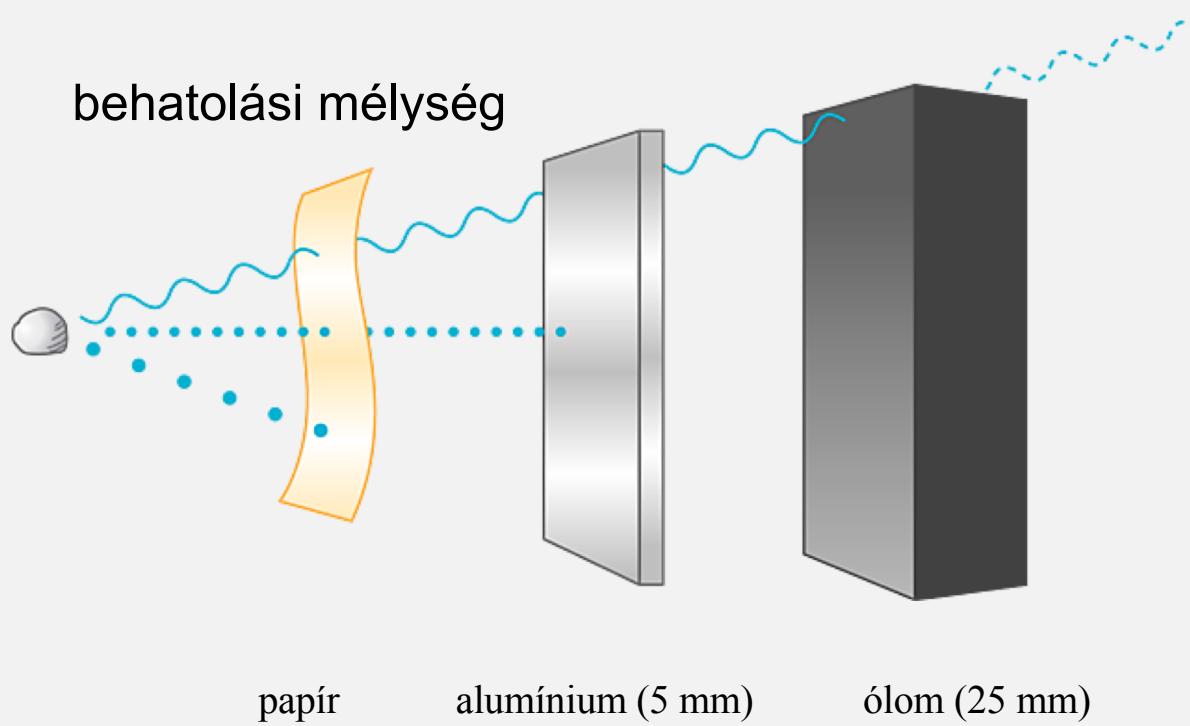
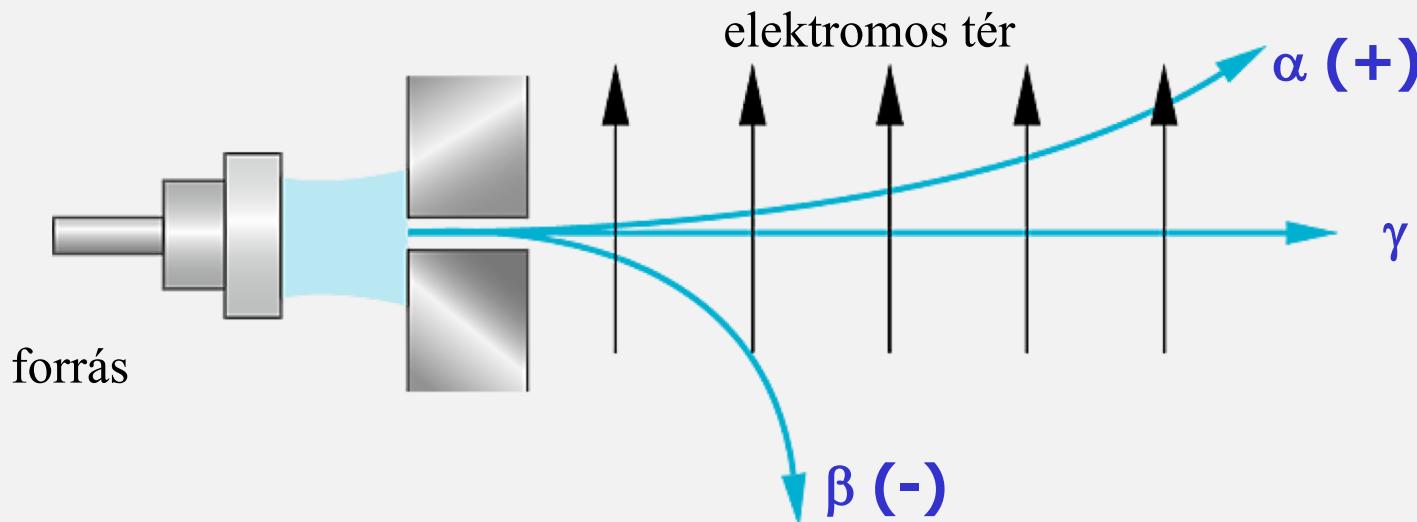
**Jód - 131 ( $^{131}\text{I}$ ) -  $T_{1/2} = 8 \text{ nap}$**   
*pajzsmirigy kezelés*

**Technécium-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) -  $T_{1/2} = 6 \text{ óra}$**   
*Izotóp diagnosztika*

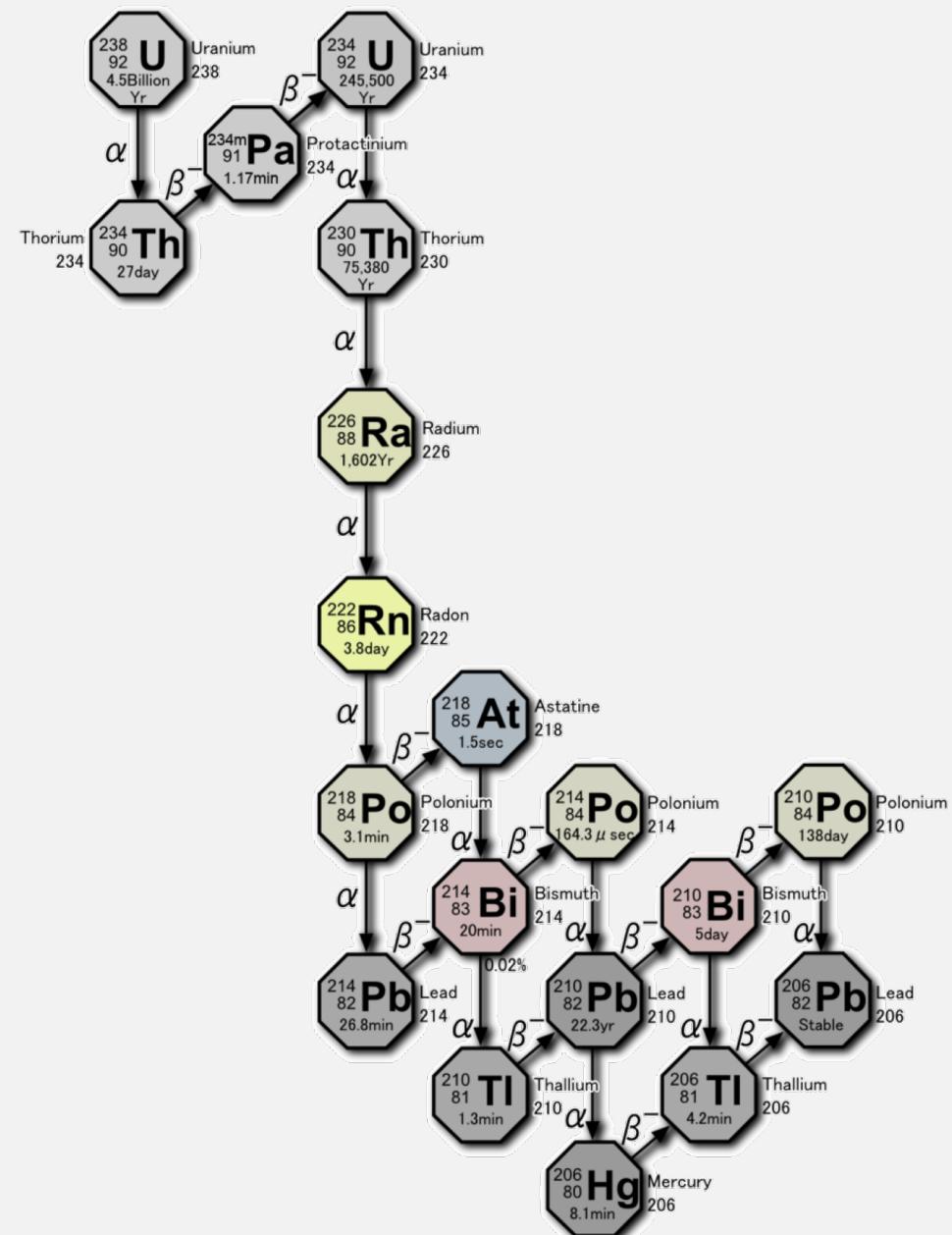
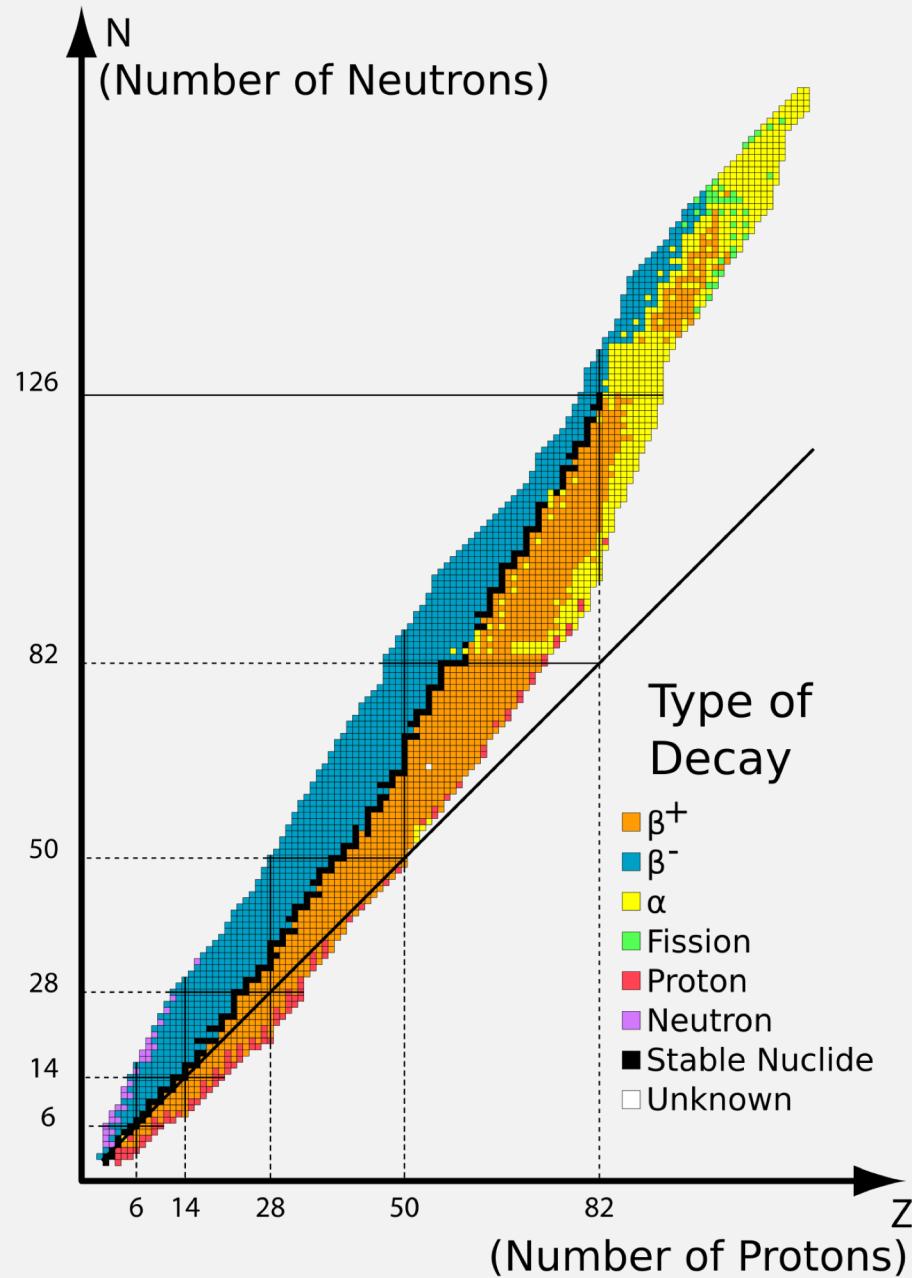


**Arany-198 ( $^{198}\text{Au}$ ) -  $T_{1/2} = 2,7 \text{ nap}$**   
*Tumorterápia*

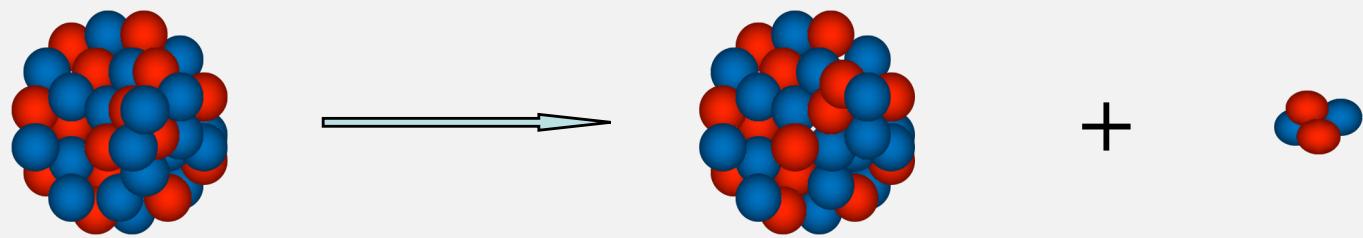
# Radioaktív bomlás típusai



# Radioaktív bomlás típusai



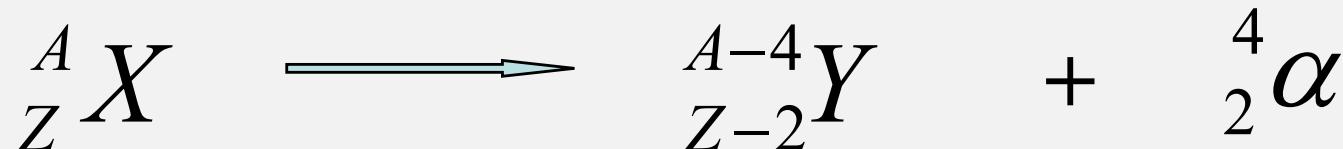
# $\alpha$ bomlás



*anyamag*

*leánymag*

*$\alpha$  részecske*

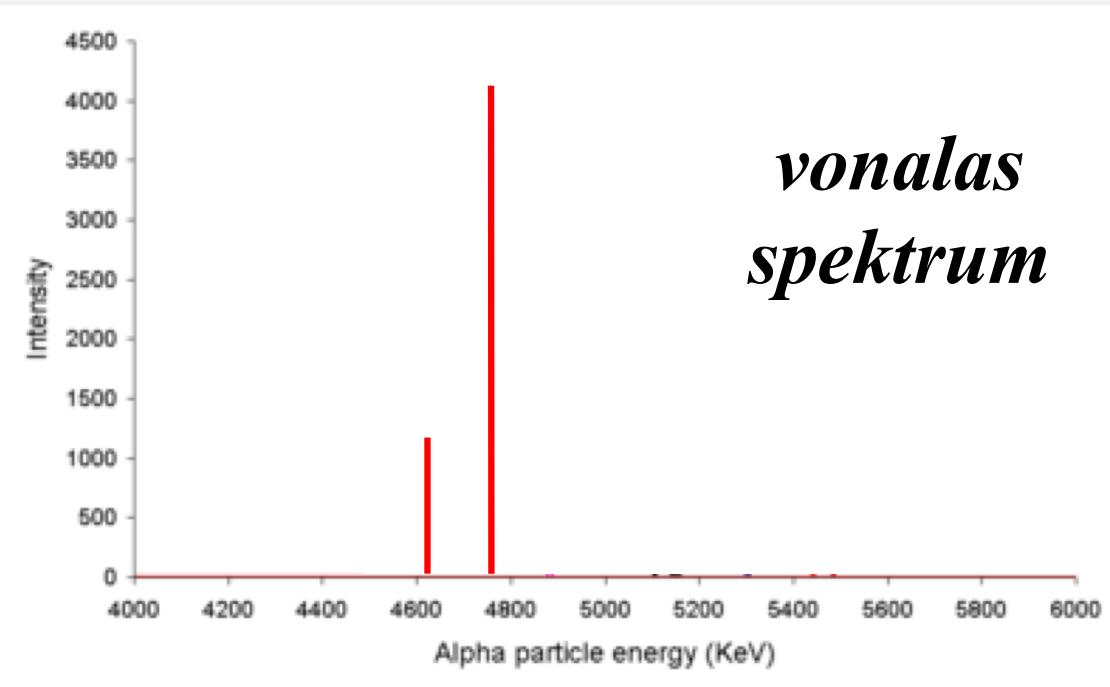
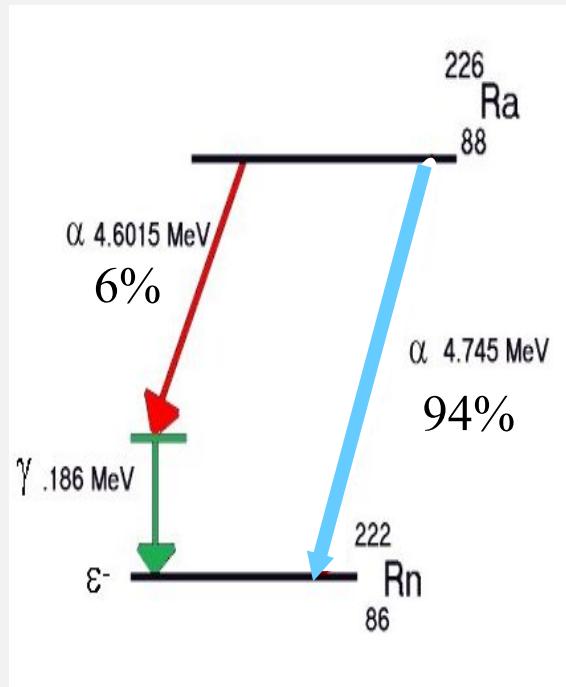


**$\alpha$  részecske:** a hélium atommagja, 2 proton és 2 neutron alkotja

Nehéz magok ( $A > 150$ ) tipikusan  $\alpha$  részecske kibocsájtásával bomlanak

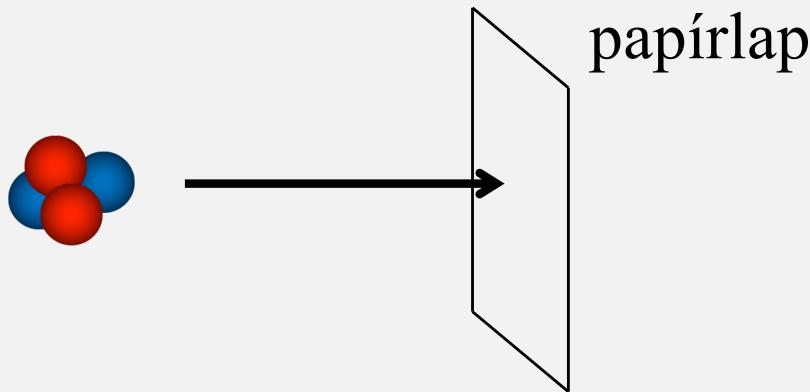


# a sugárzás energia-spektruma



*Az energiaszintek jellemzőek a magra*

# a részecskék behatolási mélysége

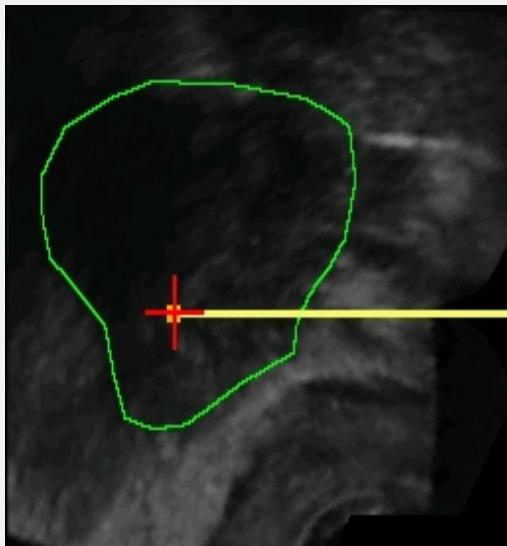


| absorber            | density                | alpha range |
|---------------------|------------------------|-------------|
| air (STP)           | 1.2 mg/cm <sup>3</sup> | 3.7 cm      |
| paper (20lb)        | 0.89 g/cm <sup>3</sup> | 53 µm       |
| water (soft tissue) | 1.0 g/cm <sup>3</sup>  | 45 µm       |

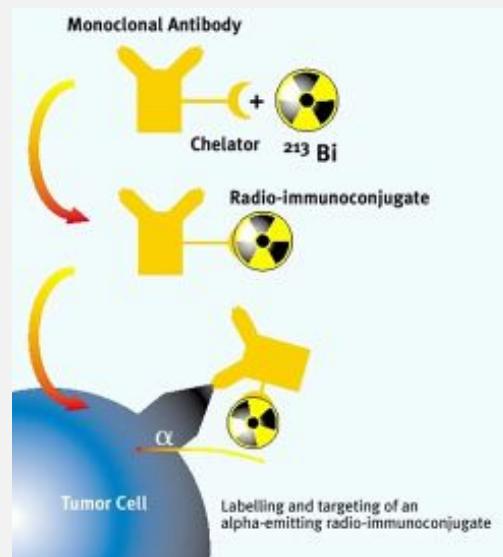
# α sugárzás a gyógyászatban

Diagnózis: –

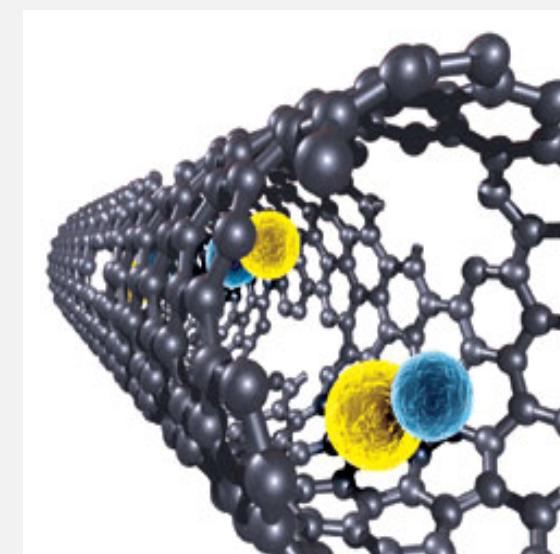
Célzott rákterápia α sugárzással



beültetés tüvel



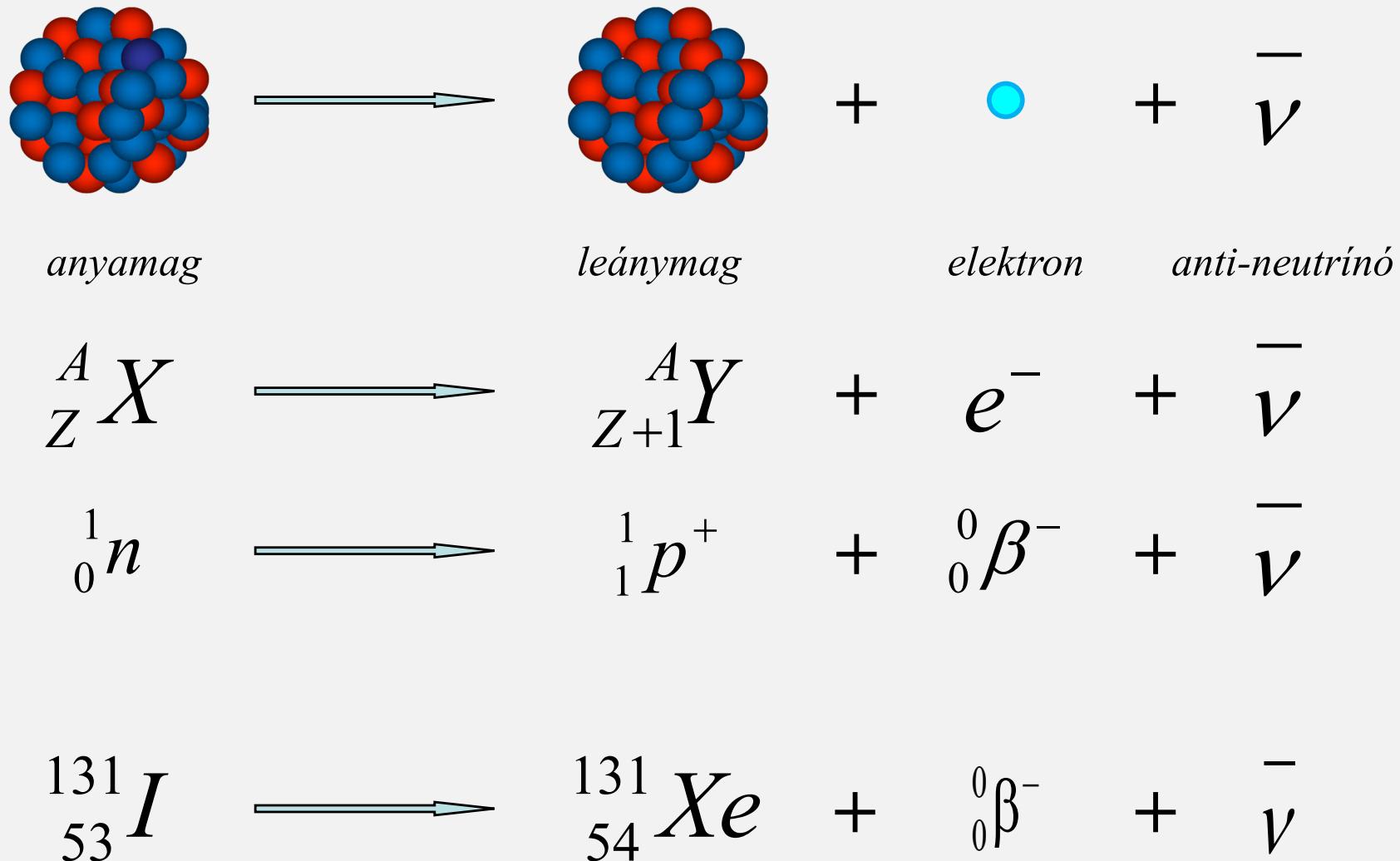
monoklonális antitest



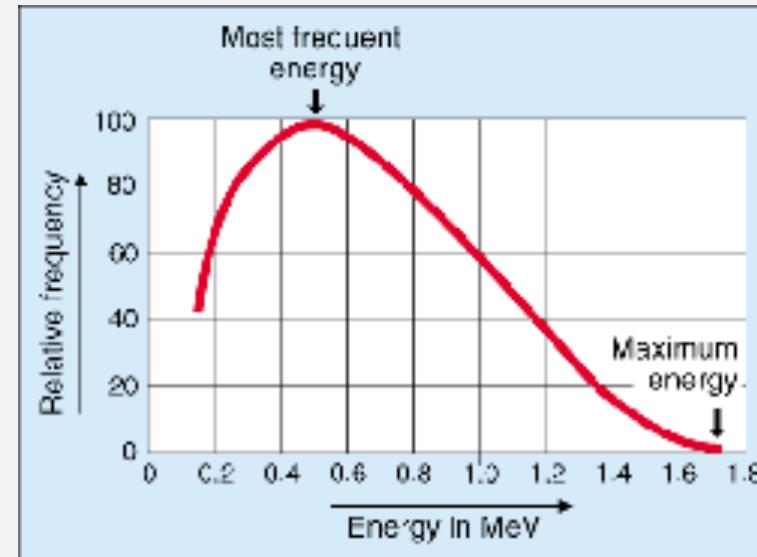
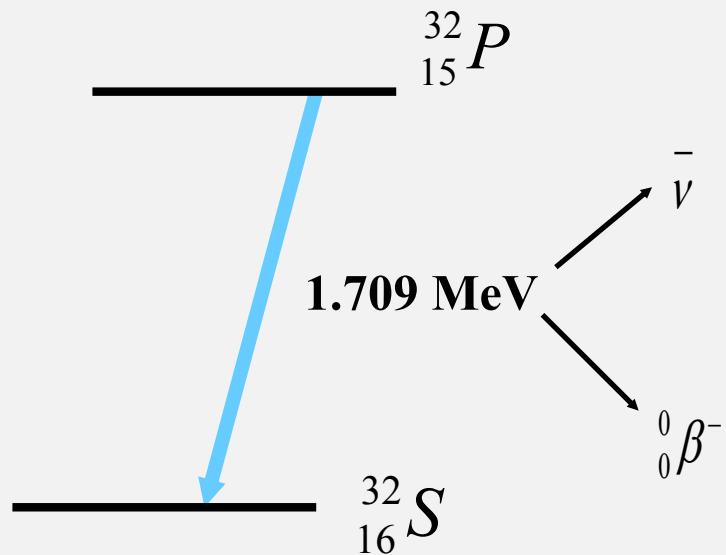
karbon nano-cső

# $\beta$ bomlás

## 1. Neutron-felesleg: $\beta^-$ bomlás



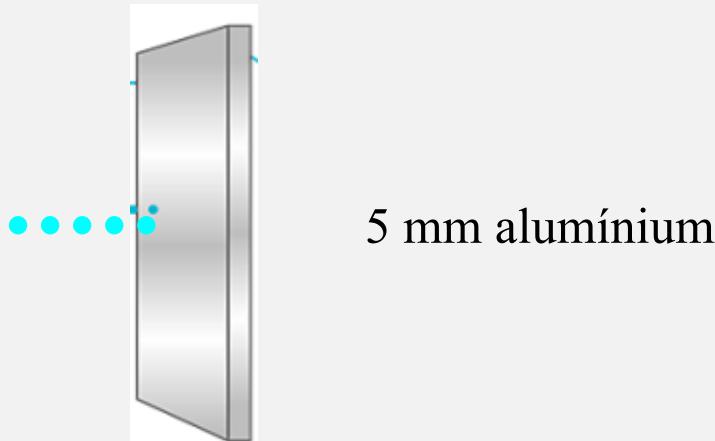
# $\beta$ sugárzás energia-spektruma



*folytonos spektrum*

DE, a  $\beta$  részecske energiájának van maximuma!

# $\beta^-$ részecskék behatolási mélysége

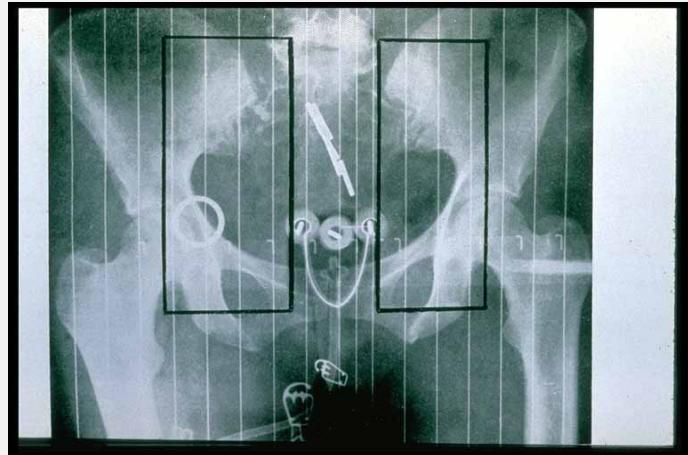


| <b><i>absorber</i></b> | <b><i>density</i></b>  | <b><i>maximum beta range<br/>(2.3 MeV)</i></b> | <b><i>(1.1 MeV)</i></b> |
|------------------------|------------------------|--|-------------------------|
| air                    | 1.2 mg/cm <sup>3</sup> | 8.8 m  | 3.8 m                   |
| water (soft tissue)    | 1.0 g/cm <sup>3</sup>  | 11 mm  | 4.6 mm                  |
| aluminum               | 2.7 g/cm <sup>3</sup>  | 4.2 mm   | 2.0 mm                  |
| lead                   | 11.3 g/cm <sup>3</sup> | 1.0 mm   | 0.4 mm                  |

# $\beta^-$ sugárzás a gyógyászatban

Diagnózis: –

Célzott terápiák: hypertiroidizmus,  
pajzsmirigy, prosztata és egyéb tumorok



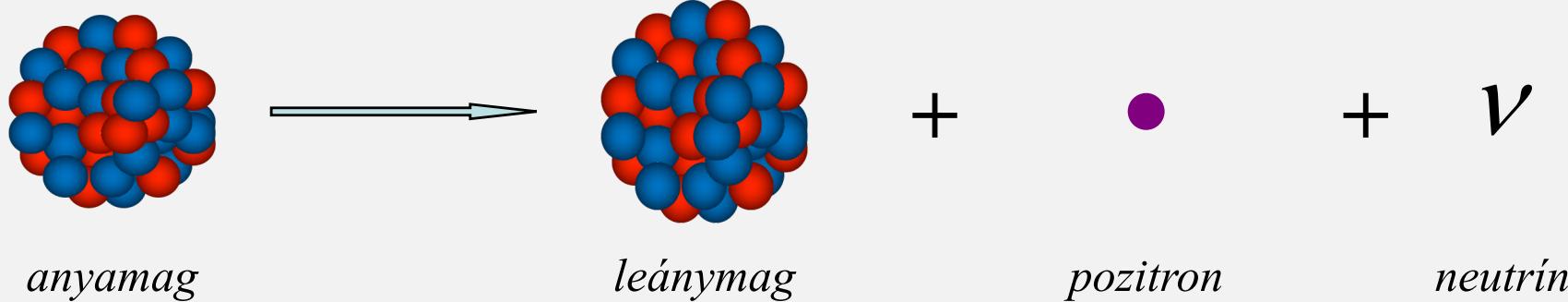
Brachytherapy:  
implants into the  
tumor



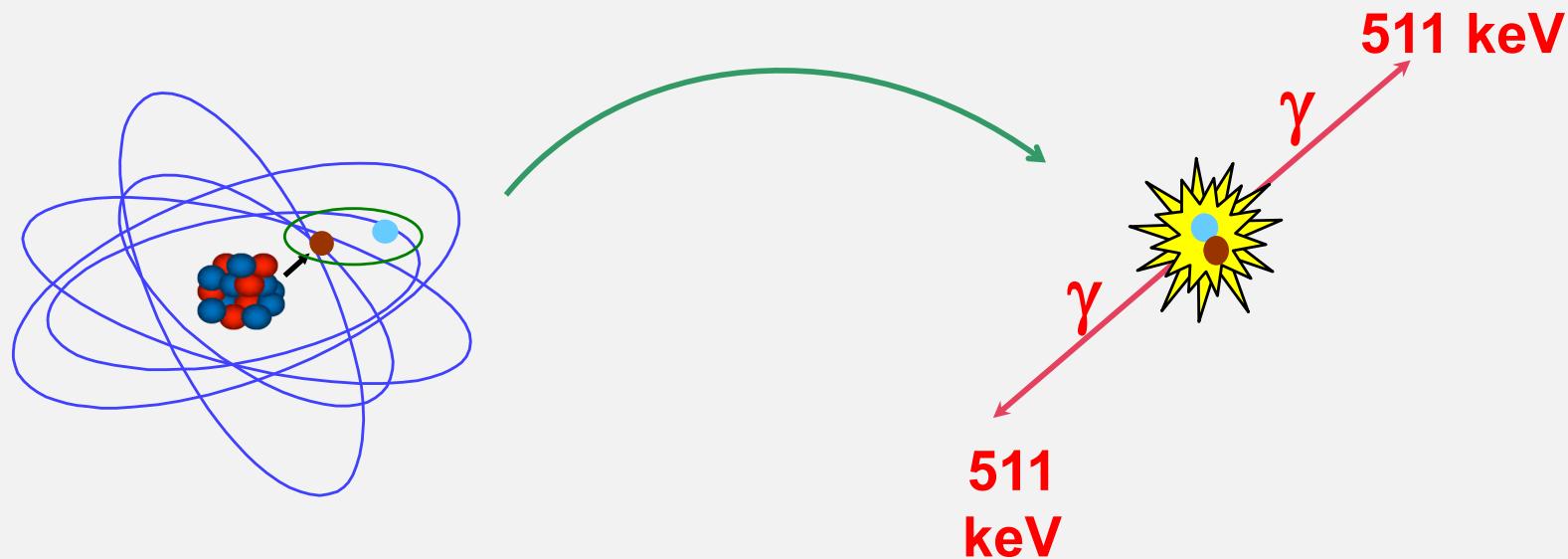
Endovascular  
irradiation

# $\beta$ bomlás

## 2. Proton-felesleg: $\beta^+$ bomlás



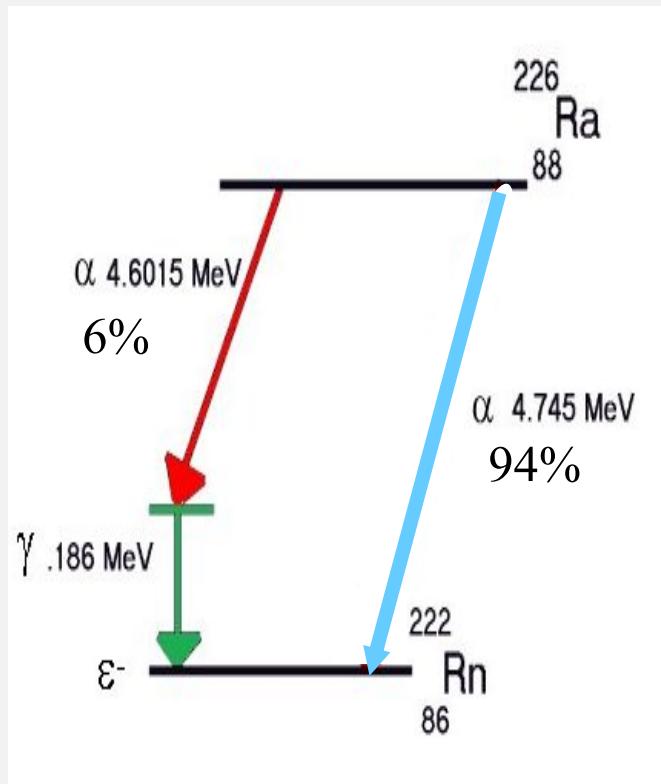
# Annihiláció - részecske-antirészecske párok megsemmisítik egymást



1. Lendület megmaradás törvénye: két egymással átellenesen kirepülő foton születik
2. Energiamegmaradás törvénye:

$$m_e c^2 + m_p c^2 = 2 h f$$

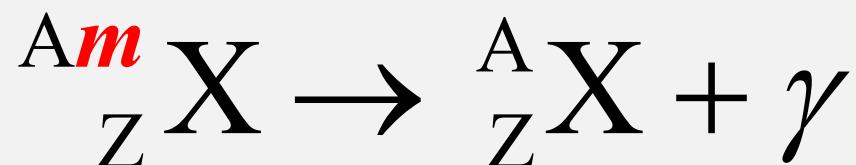
# $\gamma$ bomlás – nukleonok izomerizációja



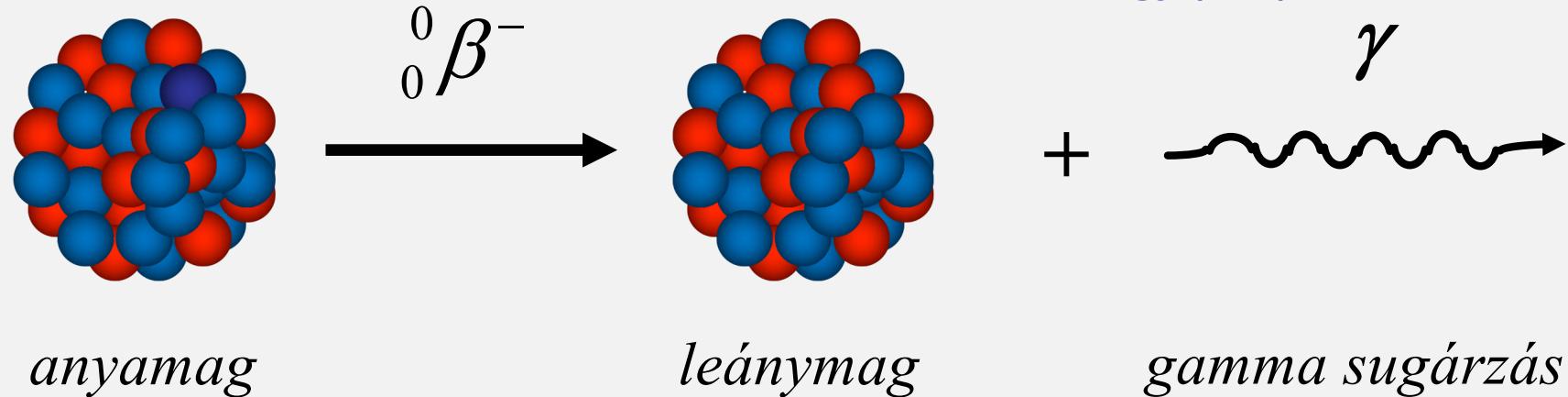
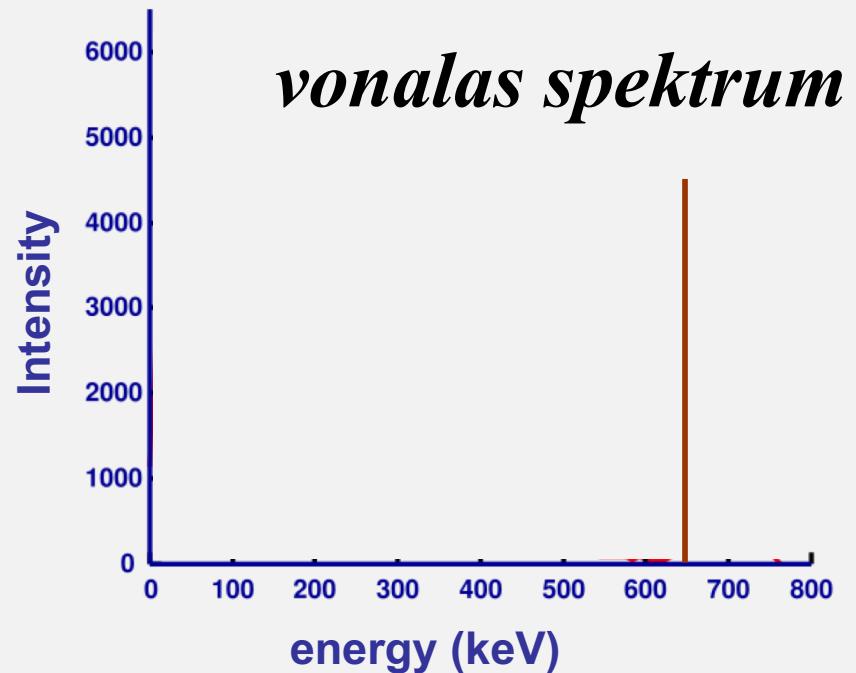
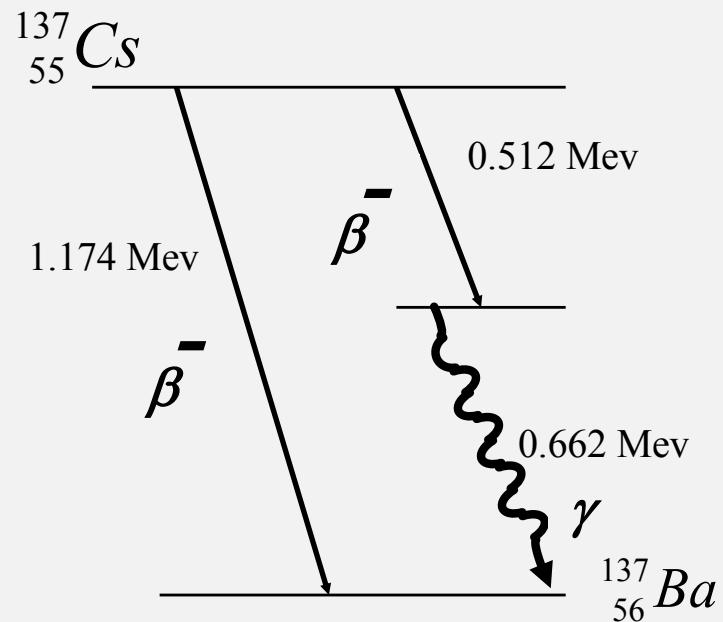
A leánymag néha gerjesztett állapotban van  $\alpha$  vagy  $\beta$  bomlást követően.

A gerjesztett mag gamma-sugárzással szabadul meg fölös energiájától.

A fél-életidő néhány órától néhány száz évig változhat.

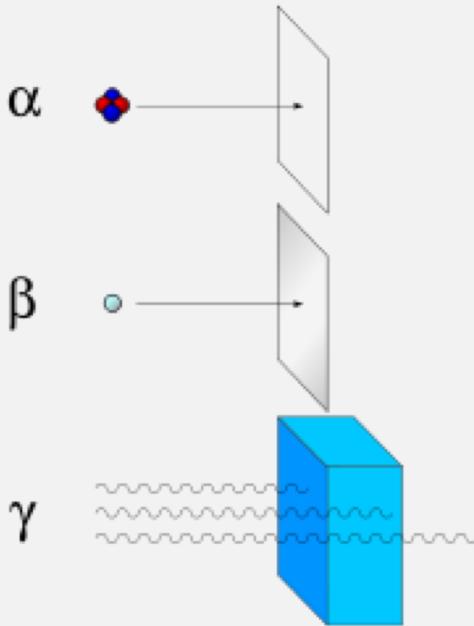


# $\gamma$ sugárzás energia-spektruma



*A gamma-energia jellemző a magra.*

# $\gamma$ sugárzás behatolási mélysége

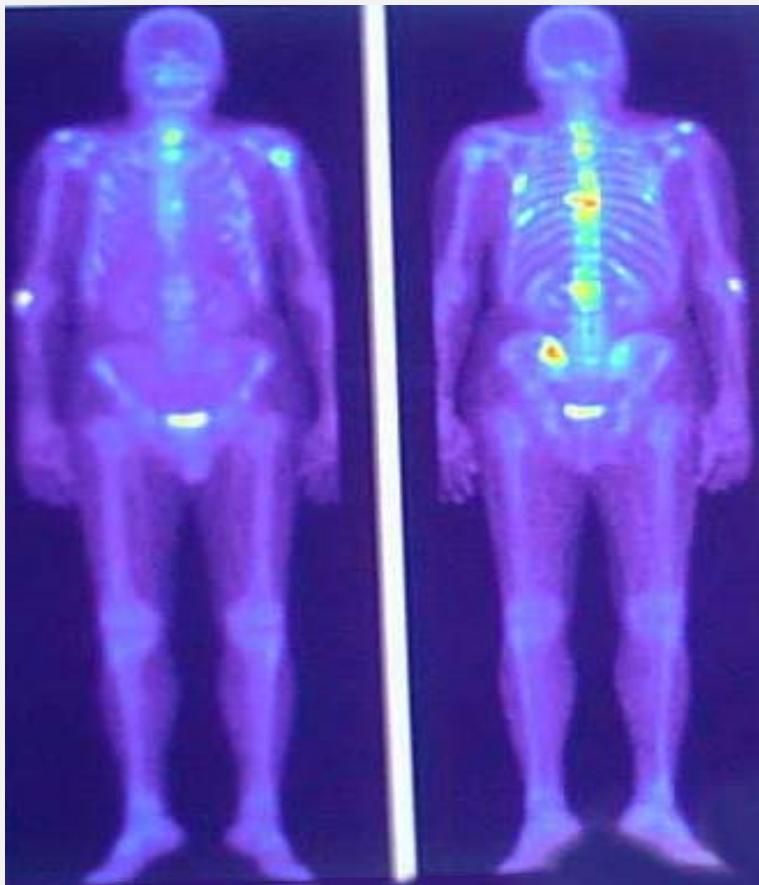


A gamma sugárzás behatolási mélysége sokkal nagyobb, mint az  $\alpha$  vagy  $\beta$  részecskéké, és nagymértékben függ a gamma foton energiájától.

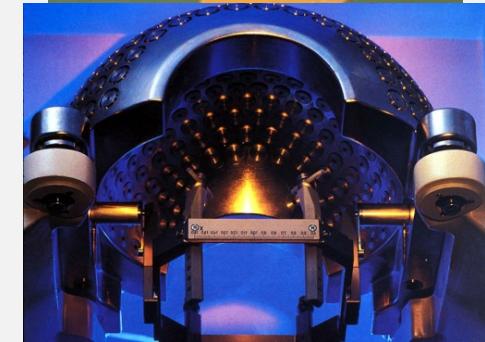
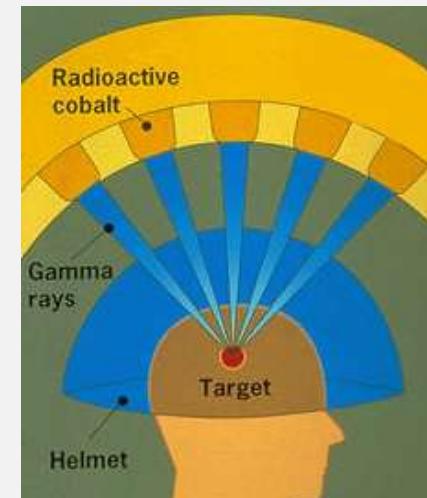
Gamma fotonok akár néhány száz métert is megtehetnek levegőben és könnyedén átszelik az emberi testet.

# $\gamma$ sugárzás a gyógyászatban

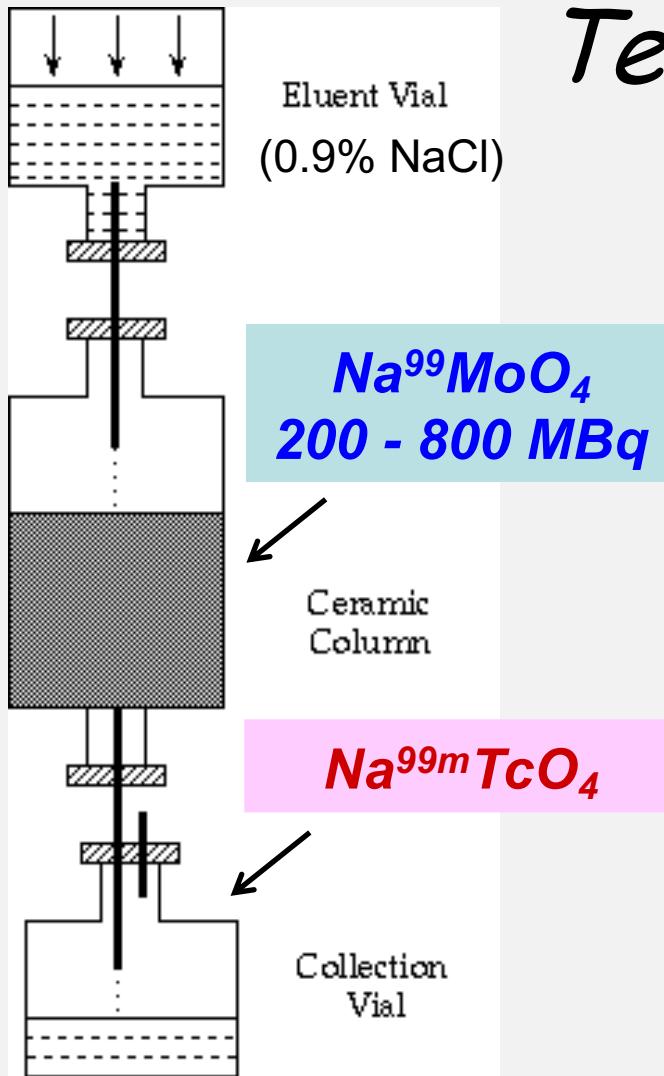
Diagnosztika: gamma kamera, SPECT (PET)



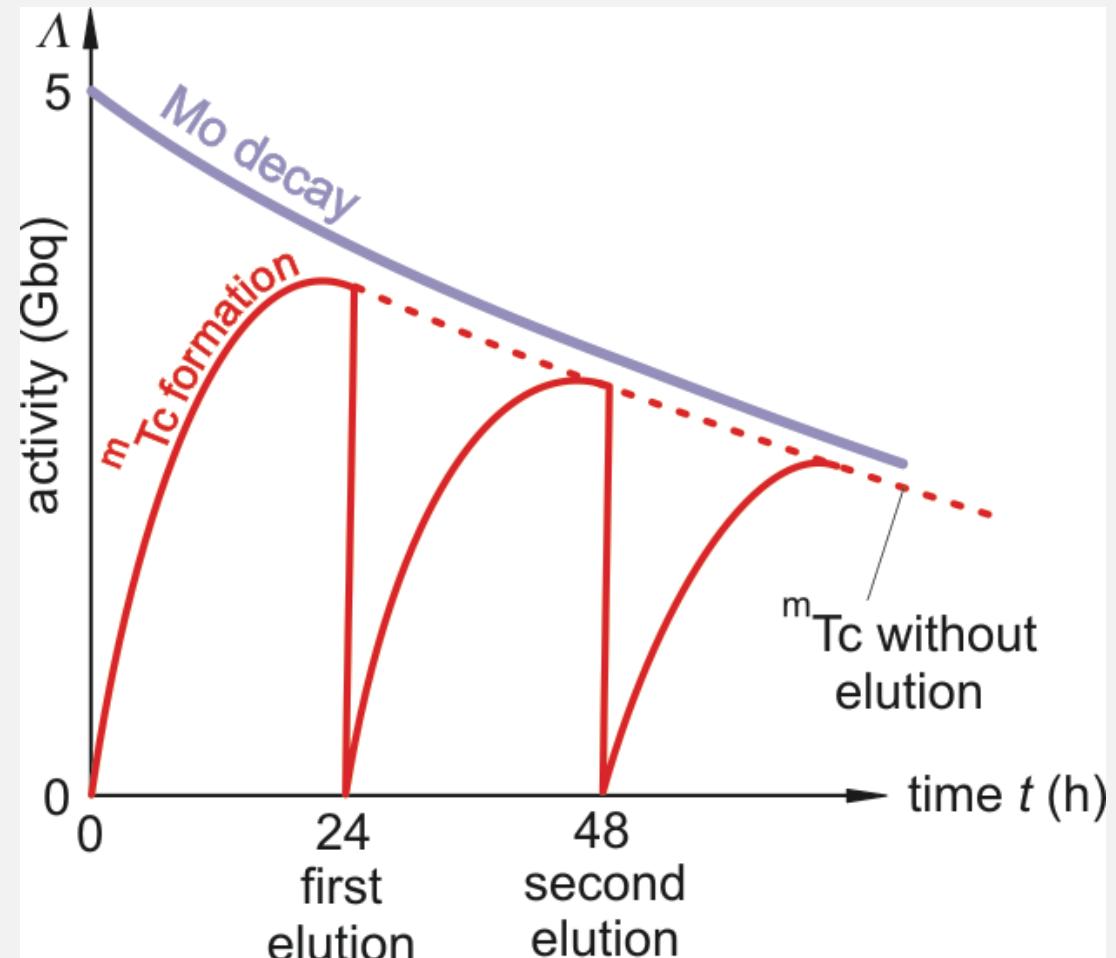
Csontfelvétel  $^{99m}\text{Tc}$ -jelölt foszfátvegyülettel



terápia: gamma-kés

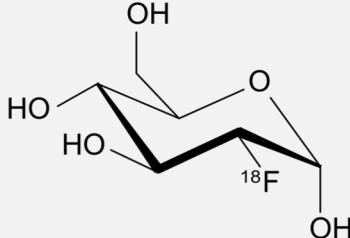


# Technécium-99m generátor



$T_{1/2}=67$  óra

$T_{1/2}=6$  óra

| <u>Izotóp</u>      | <u>radiofarmakon</u>        | <u>szerv</u>  | <u>funkció</u>     |
|--------------------|-----------------------------|---|--------------------|
| $^{99}\text{Tc}^m$ | <i>nátrium pertechnetát</i> | agy   | vérkeringés        |
| $^{99}\text{Tc}^m$ | <i>albuminhoz kötve</i>     | tüdő  | vérkeringés        |
| $^{99}\text{Tc}^m$ | <i>kolloid szuszpenzió</i>  | máj   | májfunkció         |
| $^{99}\text{Tc}^m$ | <i>pirofoszfát komplex</i>  | csontritum  | csontritanyagcsere |
| $^{123}\text{I}$   | <i>jodid</i>                | pajzsmirigy   | metabolizmus       |
| $^{123}\text{I}$   | <i>hippurán</i>             | vese  | vesefunkció        |
| $^{133}\text{X}$   | <i>X gáz</i>                | tüdő  | légzés             |
| $^{18}\text{F}$    | <i>fluorodeoxiglükóz</i>    |  | metabolizmus       |

## *Ellenőrző kérdések*

Atommag felépítése

Az atommag stabilitása – magerő – tömegdefektus

A bomlástörvény differenciális és integrális alakja

Bomlási állandó, felezési idő, átlagos élettartam

Magsugárzások típusai, spektrumuk, áthatolóképességük

$^{99m}\text{Technécium}$  generátor

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi biofizika*

I. 1.5

1.5.1

1.5.2

1.5.4

II.3.2

3.2.1

3.2.2

3.2.3

3.2.4