

# Generator neutronów

Wiązki przyspieszonych jonów wodoru: deuteronów (D) i trytonów (T) mogą być wykorzystane do wyzwolenia reakcji fuzji jądrowej, w której emitowane są neutrony. Najczęściej są to reakcje: D+D i D+T.

Pierwsza z nich, (D+D) może zachodzić dwoma kanałami: 1A - z emisją protonu, lub 1B - neutronu. Energia emitowanych neutronów wynosi ok. 2,5 MeV.



W reakcji 2: (D+T) emitowane są neutrony o energii ok. 14 MeV. Reakcja ta ma dużo większą wydajność emisji neutronów niż reakcja pierwsza. Neutrony mają też większą energię.



Aby mogło dojść do tych reakcji, jony muszą pokonać barierę kulombowską wynikającą z działającej pomiędzy nimi odpychającej siły elektrostatycznej. Realizuje się to poprzez przyspieszanie wiązki jonów deuteronów lub/i trytonów do energii ok: 100 – 500 keV i doprowadzanie do zderzeń przyspieszonych jonów z tarczą zawierającą także deuterony lub/i trytony. Tarcza ma zwykle postać metalowej płytki z wodorku: tytanu, skandu lub cyrkonu na podłożu ze srebra lub miedzi, Mogą być tarcze nasycane periodycznie jonami wodoru lub samonapelniające się w czasie pracy układu.

Neutrony emitowane są izotropowo w układzie spoczynkowym zderzających się jonów. W układzie laboratoryjnym neutrony emitowane są anizotropowo. Więcej emitowanych jest w kierunku do przodu, bowiem układ środka masy porusza się do przodu w laboratorium.

## Przypomnijmy informacje z poprzedniego wykładu:

**Rozpad alfa jest procesem dwuciałowym**, tzn w stanie końcowym są dwa obiekty: cząstka alfa i jądro odrzutu. Jeśli więc zachodzi w spoczynku, to zasada zachowania pędu wymaga, by pędy produktów rozpadu były równe i przeciwnie skierowane. Masy cząstki alfa i jądra końcowego jednak zasadniczo się różnią. Wynikają z tego różne wartości energii kinetycznych.

$$E_k(\alpha) = \frac{p^2}{2 \cdot m_\alpha}, \quad E_k(Y) = \frac{p^2}{2 \cdot m_Y} \quad (2.1A.5)$$

Energia rozpadu  $Q_\alpha$  jest sumą energii kinetycznych produktów rozpadu.

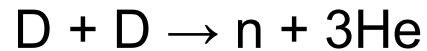
$$Q_\alpha = E_k(\alpha) + E_k(Y) = \frac{p^2}{2 \cdot m_\alpha} + \frac{p^2}{2 \cdot m_Y} = \frac{p^2}{2 \cdot m_\alpha} \cdot \left[1 + \frac{m_\alpha}{m_Y}\right] = E_k(\alpha) \cdot \left[1 + \frac{m_\alpha}{m_Y}\right] \quad (2.1A.6)$$

Biorąc pod uwagę stosunek masy cząstki alfa do masy jądra końcowego widzimy, że z dokładnością do kilku procent energia kinetyczna cząstki alfa odpowiada energii rozpadu.

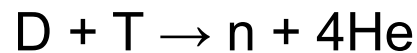
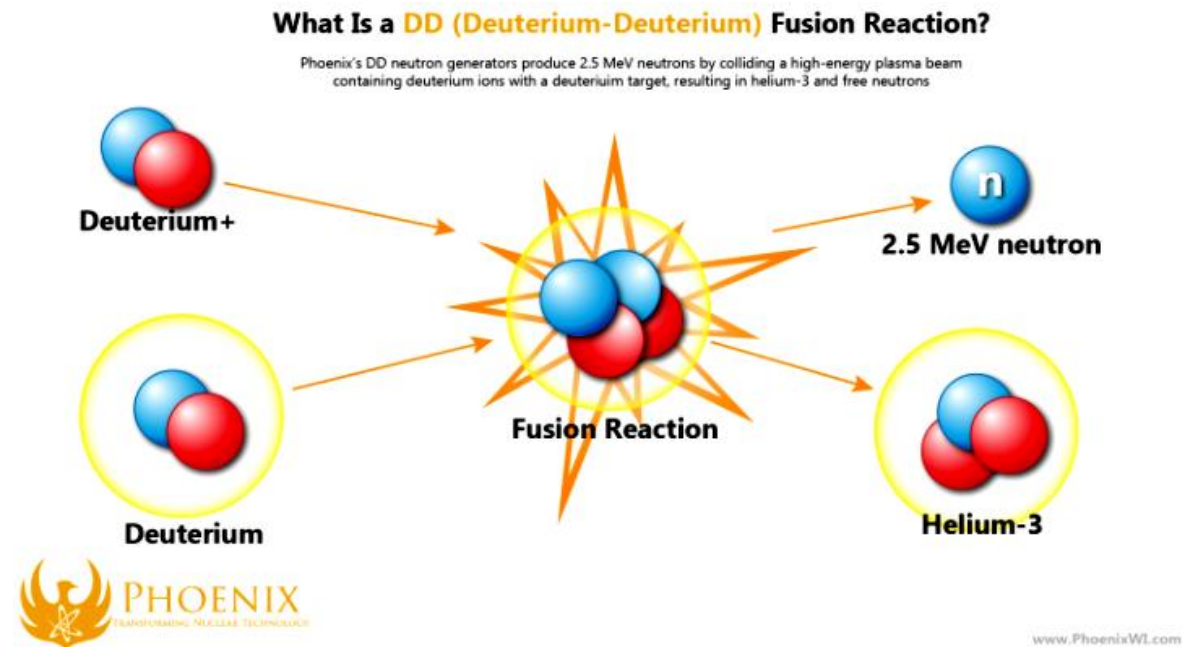
=====

W naszym przypadku jest odwrotnie:  $m_Y$  jest masą neutronu, ok. czterokrotnie mniejszą od masy cząstki alfa. Wynika z tego, że energia cząstki alfa jest czterokrotnie mniejsza niż energia neutronu. Rzeczywiście;  $14/4=3.5$ .

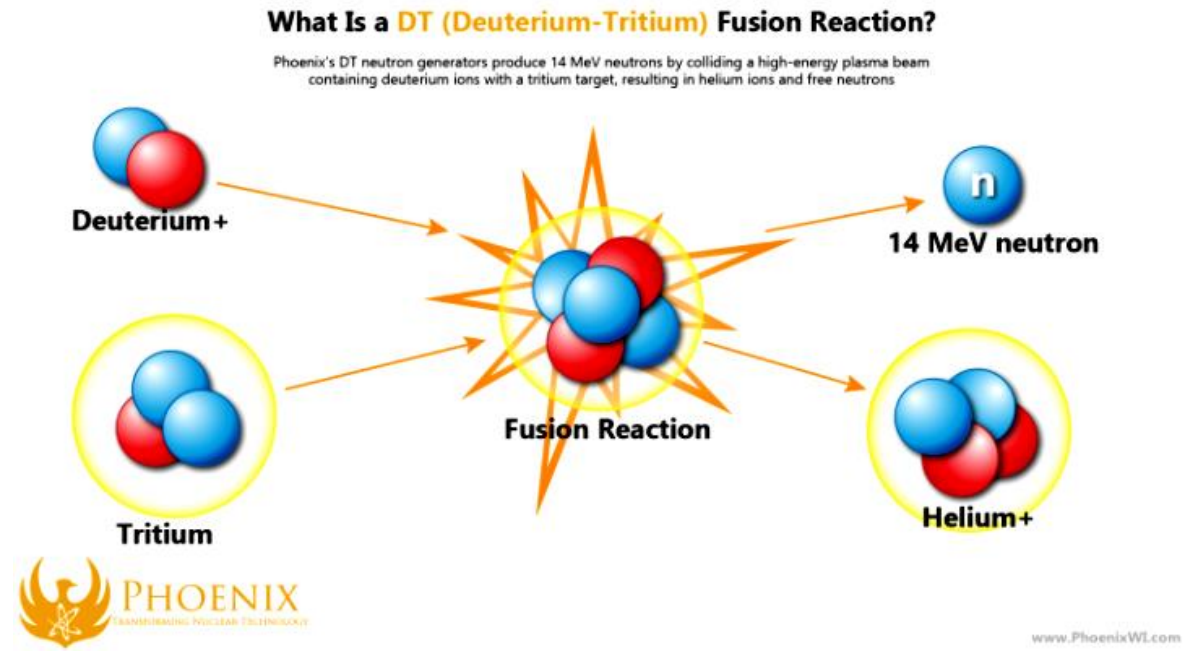
## D-D Neutron Generator

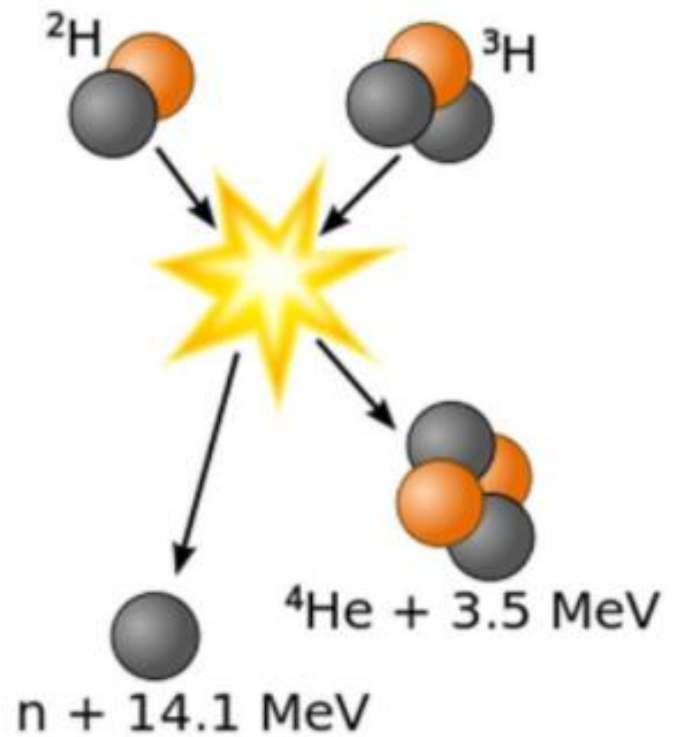
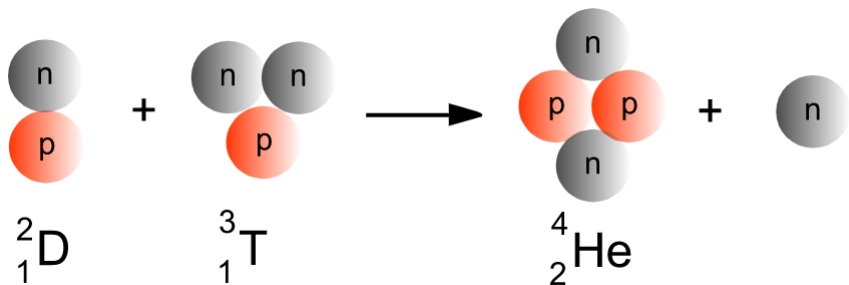
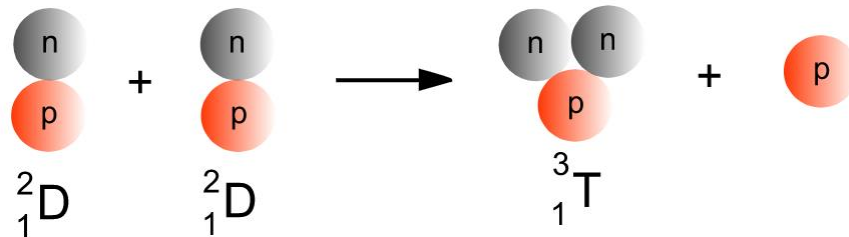
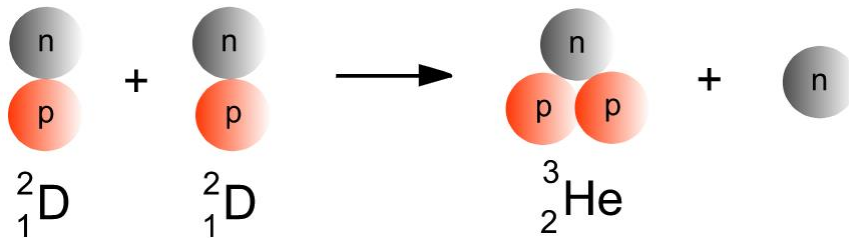


$$E_n = 2,5 \text{ MeV}$$

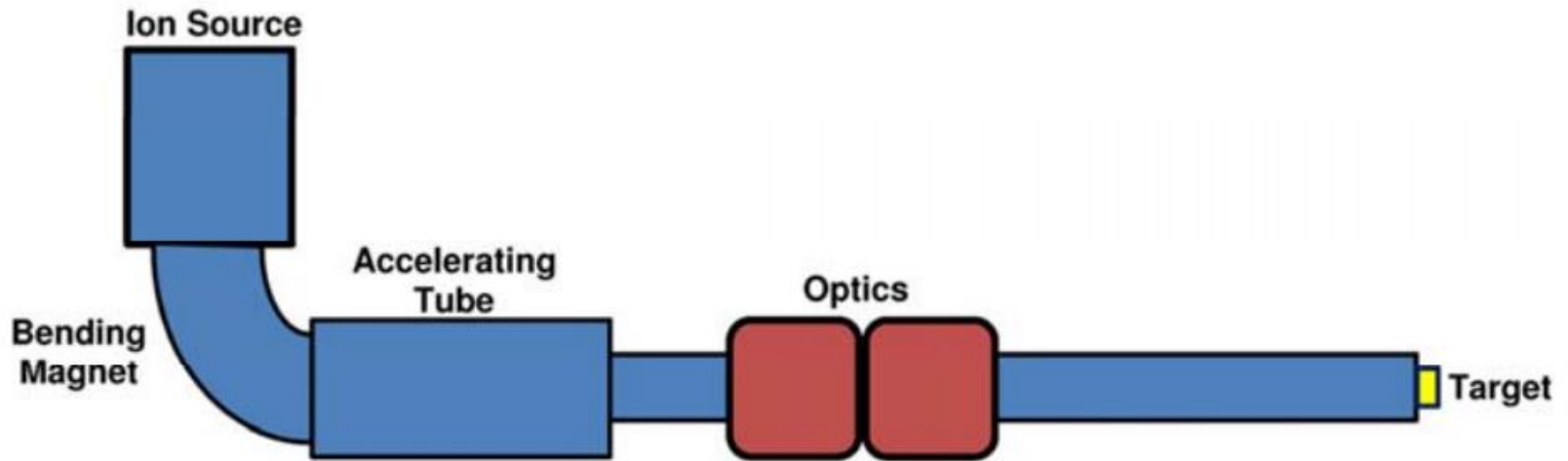


$$E_n = 14,1 \text{ MeV}$$





**The Frascati Neutron Generator: A multipurpose facility for physics and engineering,**  
A. Pietropaolo<sup>1</sup> , F. Andreoli<sup>1</sup> , M. Angelone<sup>1</sup> , U. Besi Vetrella<sup>1</sup> , S. Fiore<sup>1</sup> , S. Loreti<sup>1</sup> , G.  
Pagano<sup>1</sup> , R. Pilotti<sup>1,2</sup> and M. Pillon<sup>1</sup>, Journal of Physics: Conf. Series 1021 (2018) 012004  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1021/1/012004/pdf>



**Figure 1:** *Schematic layout of the FNG assembly. See Ref. [2] for details.*

Deuterons are accelerated by means of an electrostatic accelerator up to 300 kV and 1 mA current is delivered onto a Titanium target, loaded with Deuterium or Tritium, where D-D or D-T fusion reactions (namely  $D+T \rightarrow n+{}^4\text{He}+17.6\text{ MeV}$  and  $D+D \rightarrow n+{}^3\text{He}+3.27\text{ MeV}$ ) take place.

Thermo Scientific™ MP 320 is a lightweight, portable neutron generator suited for most demanding field or laboratory applications. It has very low power requirements and may be operated from battery or vehicle power sources. It is available with either a Deuterium-Tritium (DT) or a Deuterium-Deuterium (DD) neutron tube.

## Thermo Scientific MP 320 Neutron Generator

### Technical Specifications

|                             |                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Neutron Yield               | 1.0E+08 n/s                                                                                         |
| Neutron Energy              | 14 MeV                                                                                              |
| Typical Lifetime            | 1,200 hours @ 1x10 <sup>8</sup> n/s                                                                 |
| Pulse Rate                  | 250 Hz to 20 kHz, continuous                                                                        |
| Duty Factor                 | 5% to 100%                                                                                          |
| Minimum Pulse Width         | 5 µsec                                                                                              |
| Pulse Rise Time             | Less than 1.5 µsec                                                                                  |
| Pulse Fall Time             | Less than 1.5 µsec                                                                                  |
| Maximum Accelerator Voltage | 95 kV                                                                                               |
| Beam Current                | 60 µamps                                                                                            |
| Power Supply                | Integral                                                                                            |
| Neutron Module              | 12.07 cm x 57.15 cm (4.75 in x 22.5 in)                                                             |
| Control Module              | Integral, digital                                                                                   |
| Safety Features             | Keylock: on/off<br>Emergency: on/off<br>Normal-open and normal-closed interlocks<br>Pressure switch |
| Total Weight                | 12 kg (26.46 lb)                                                                                    |
| Remote Control              | RS-232/RS-485                                                                                       |

