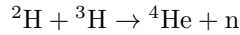


**I. megoldás.** Számoljuk ki először a



magreakcióban felszabaduló energiát! A magtömegek és az  $E = \Delta m c^2$  összefüggés ismeretében kiszámíthatók (vagy táblázati adatok között megtalálhatók) a kötési energiák:

$$E_{\text{köt}}({}^2\text{H}) = 2,224 \text{ MeV}, \quad E_{\text{köt}}({}^3\text{H}) = 8,481 \text{ MeV}, \quad E_{\text{köt}}({}^4\text{He}) = 28,297 \text{ MeV}.$$

Az energiamegmaradás törvénye szerint

$$(1) \quad E_{\text{köt}}({}^4\text{He}) - E_{\text{köt}}({}^2\text{H}) - E_{\text{köt}}({}^3\text{H}) = \frac{1}{2}m_{\text{He}}v_{\text{He}}^2 + \frac{1}{2}m_{\text{n}}v_{\text{n}}^2.$$

(Feltételezzük, hogy a reakciótermékek sebessége a fénysebességhez képest kicsiny, ezért a nemrelativisztikus mechanika törvényei alkalmazhatók.) Teljesül még a lendületmegmaradás törvénye is:

$$(2) \quad m_{\text{He}}v_{\text{He}} = m_{\text{n}}v_{\text{n}}.$$

A hélium mag sebességét (2)-ből kifejezve és (1)-be helyettesítve kapjuk, hogy a gyors neutronok mozgási energiája:

$$(3) \quad E_{\text{n}} = \frac{1}{2}m_{\text{n}}v_{\text{n}}^2 = \frac{E_{\text{köt}}({}^4\text{He}) - E_{\text{köt}}({}^2\text{H}) - E_{\text{köt}}({}^3\text{H})}{1 + \frac{m_{\text{n}}}{m_{\text{He}}}} = \frac{17,592 \text{ MeV}}{1,25} \approx 14,0 \text{ MeV}.$$

*Megjegyzés.* A mozgási energiából a neutronok sebességét is kiszámolhatjuk, és láthatjuk, hogy az a fénysebességnek csak kb. 1/6 része; ezért elfogadható (néhány százalék pontossággal jó) közelítés a klasszikus fizika képleteinek alkalmazása.

**II. megoldás.** Számoljunk relativisztikusan! A nyugalmi tömegeket  $m$ -mel, az impulzusokat  $p$ -vel és a részecskéket a nevük kezdőbetűinek megfelelő indexszel fogjuk jelölni.

A lendületmegmaradás törvényéből adódóan (a deuteron lendületét elhanyagolva):

$$p_{\text{He}} = p_{\text{n}} = p.$$

(A két lendület iránya ellentétes).

Alkalmazzuk a  $\mu = p/c$  jelölést ( $c$  a fénysebesség vákuumban). Az energiamegmaradás törvénye ebben a reakcióban (a relativisztikus energia-impulzus összefüggés felhasználásával):

$$m_{\text{D}}c^2 + m_{\text{T}}c^2 = \sqrt{(m_{\text{He}}c^2)^2 + (\mu c^2)^2} + \sqrt{(m_{\text{n}}c^2)^2 + (\mu c^2)^2},$$

vagyis

$$(4) \quad \sqrt{m_{\text{He}}^2 + \mu^2} + \sqrt{m_{\text{n}}^2 + \mu^2} = m_{\text{D}} + m_{\text{T}}.$$

Szorozva  $\sqrt{m_{\text{He}}^2 + \mu^2} - \sqrt{m_{\text{n}}^2 + \mu^2}$ -tel:

$$(5) \quad (m_{\text{D}} + m_{\text{T}}) \left( \sqrt{m_{\text{He}}^2 + \mu^2} - \sqrt{m_{\text{n}}^2 + \mu^2} \right) = m_{\text{He}}^2 - m_{\text{n}}^2,$$

$$\sqrt{m_{\text{He}}^2 + \mu^2} - \sqrt{m_{\text{n}}^2 + \mu^2} = \frac{m_{\text{He}}^2 - m_{\text{n}}^2}{m_{\text{D}} + m_{\text{T}}}.$$

A (4) egyenletből kivonva (5)-öt és osztva 2-vel:

$$\sqrt{m_{\text{n}}^2 + \mu^2} = \frac{1}{2} \left( m_{\text{D}} + m_{\text{T}} - \frac{m_{\text{He}}^2 - m_{\text{n}}^2}{m_{\text{D}} + m_{\text{T}}} \right) = \frac{1}{2} \frac{(m_{\text{D}} + m_{\text{T}})^2 - m_{\text{He}}^2 + m_{\text{n}}^2}{m_{\text{D}} + m_{\text{T}}}.$$

A neutron mozgási energiája tehát

$$E_{\text{n}}^{\text{mozg.}} = \left( \sqrt{m_{\text{n}}^2 + \mu^2} - m_{\text{n}} \right) c^2 =$$

$$= \frac{(m_{\text{D}} + m_{\text{T}})^2 - m_{\text{He}}^2 + m_{\text{n}}^2 - 2m_{\text{n}}(m_{\text{D}} + m_{\text{T}})}{2(m_{\text{D}} + m_{\text{T}})} c^2 =$$

$$= \frac{(m_{\text{D}} + m_{\text{T}} - m_{\text{n}})^2 - m_{\text{He}}^2}{2(m_{\text{D}} + m_{\text{T}})} c^2 \approx 2,18 \text{ pJ} = 13,6 \text{ MeV}.$$