

a) A magfizikában a neutronok jellemzésére használatos az ún. neutron-hőmérséklet ( $T_n$ ).  $T_n$ -et az definiálja, hogy a neutron energiája  $kT_n$  nagyságrendű. Innen

$$T_n \sim \frac{E_n}{k} = \frac{1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^{-7} \text{ V}}{1,3805 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}} \sim 10^{-3} \text{ K}.$$

Vagyis a neutron hőmérséklete mK nagyságrendű, ami igen kis hőmérséklet. Az alacsonyhőmérséklet-fizikában ilyen hőmérsékletek előállítása igen nagy technikai nehézséget jelent.

b) Az ultra-hideg neutronok sebességét az

$$E_n = \frac{1}{2} m_n v^2$$

összefüggésből becsülhetjük. Ebből

$$v \sim \frac{2E_n}{m_n} \cong 4,4 \text{ m/s}$$

adódik. Egy átlagos futó rövid távon ennél gyorsabban fut.

c) Az átlagos élettartam mérése neutronok esetében ugyanolyan elv alapján történik, mint bármely más radioaktív anyag esetében. A  $\Delta t$  időtartam alatt elbomlott részecskék száma ( $\Delta N$ ) arányos az összes jelenlevő, még elbomlatlan részecskék számával ( $N$ -nel):

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\frac{N}{\tau}.$$

A neutron protonra, elektronra és antineutrinóra bomlik. Így a  $\Delta t$  időtartam alatt elbomlott neutronok számát a keletkező protonok és/vagy elektronok számából állapíthatjuk meg. Az összes jelenlevő neutronok száma szintén mérhető. Ilyen mérésekre főleg szerves vagy szervetlen szcintillátorok alkalmasak. Ezek ismeretében az átlagos élettartam ( $\tau$ ) az (1) összefüggés alapján számolható.

d) Az emelkedési magasság az energiatételből becsülhető:

$$E_n = m_n g h.$$

Erre 1 m adódik.

e) Az ultra-hideg neutronok hullámhossza az ismert de-Broglie féle összefüggésből:

$$\lambda = \frac{h}{p_n} = \frac{h}{m_n v} = \frac{h}{\sqrt{2mE_n}} \sim 9 \cdot 10^{-8} \text{ m}.$$

A szilárd anyag atomjainak távolsága kb. 0,1 nm. A fenti hullámhossz ennél két-három nagyságrenddel nagyobb.

f) Az e) részben kiszámolt nagyságrendek miatt az ultra-hideg neutronok mozgása szilárd anyagban geometriai-optikai analógiákkal írható le. Definiálható (anyagtól függő) törésmutató és ún. teljes visszaverődési határszög. Helyesen megválasztott anyagok (pl. Ni) határfelületére érkező neutron azokról teljes visszaverődést szenved, így azok neutron-tükörként használhatók. Ha egy edény belső fala neutron-tükör anyagból készült, abban ultra-hideg neutronok tárolhatók.

*Megjegyzés.* A neutron-hőmérséklet becslésére több megoldó az  $E_n = \frac{3}{2} kT$  formulát használta. Ez az összefüggés akkor használható, ha a neutronok termikus egyensúlyban vannak, sebességeloszlásuk a  $T$  hőmérsékletű ún. Maxwell eloszlás. Az ultra-hideg neutronok eloszlása azonban nem ilyen. Előállításuk úgy történik, hogy a termikus neutronok közelítőleg Maxwell eloszlású részéből „kivágják” a kis sebességű tartományt, és ezt használják fel további mérésekre. Természetesen ez azt is jelenti, hogy energiájuk nem pontosan  $10^{-7}$  eV, ezért csak becslésként fogadhatók el a fenti számadatok.