

a) Írjuk fel az energia megmaradását az elképzelt

$$(1) \quad p \longrightarrow n + e^+ + \nu$$

folyamatra abban a koordináta-rendszerben, amelyben a proton nyugalomban van:

$$(2) \quad m_p c^2 = m_n c^2 + m_e c^2 + m_\nu c^2 + E_{\text{mozg.}}$$

(Az  $m$ -ek a részecskék nyugalmi tömegét jelentik.) Az

$$m_p c^2 = 938,3 \text{ MeV}, m_n c^2 = 939,6 \text{ MeV}, m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV}, m_\nu c^2 = 0 \quad (\text{vagy elhanyagolhatóan kicsi})$$

adatok alapján

$$m_p c^2 < m_n c^2 + m_e c^2,$$

így (2) nem állhat fenn pozitív  $E_{\text{mozg.}}$  esetén, vagyis az (1) folyamat sérti az energiamegmaradás törvényét.

b) A neutron  $\beta$  bomlásakor felszabaduló energián az elektron, a proton és az antineutrínó osztozik. A folyamat során az impulzus is megmarad. Egy  $p$  impulzusú protonnak | nagy tömege miatt | sokkal kisebb a mozgási energiája, mint egy szintén  $p$  impulzusú neutrínónak. Ezért az elektron energiája akkor lesz a legnagyobb, ha közel nulla (másszóval elhanyagolható) impulzusú, és így közel nulla energiájú neutrínó keletkezik. Ekkor | a  $p \equiv p_p = p_e$  jelölést használva | felírhatjuk az energia megmaradását:

$$m_n c^2 = \sqrt{(pc)^2 + (m_p c^2)^2} + \sqrt{(pc)^2 + (m_e c^2)^2}.$$

Innen  $pc = 1,19 \text{ MeV}$  adódik. Az elektron teljes energiája:

$$E_e = \sqrt{(pc)^2 + m_e c^2)^2} = 1,29 \text{ MeV}.$$

Ez tehát a keletkező elektronok maximális energiája.

*Pálfalvi László (Pécs, Apáczai Csere J. Gimn., IV. o.t.)*

*Megjegyzés.* Többet hallottak róla, hogy bizonyos elméletek jóslatai szerint a proton elbomolhat, s ezért a kísérleti fizikusok nagy erőfeszítéseket tesznek a protonbomlás kimutatására. Ez a protonbomlás természetesen nem azonos az (1) folyamattal, hiszen az energia megmaradása ezekben a „modern” elméletekben sem sérülhet meg. Ezen elméletek szerint lehetőségek pl. a

$$p \longrightarrow e^+ + \pi^0, p \longrightarrow e^+ + \pi^+, p \longrightarrow \bar{\nu} + \pi^+$$

folyamatok. A proton bomlását eddig még nem sikerült kimutatni; a „mérési” adatokból (vagyis abból, hogy nem sikerült megfigyelni protonbomlást) csak alsó korlátot adhatunk az élettartamára. Eszerint, ha egyáltalán bomlik a proton, ezt nem teszi gyorsabban, mint (átlagosan)  $10^{31}$  év(!) alatt. Összehasonlításként: a feladatban szereplő (megfigyelhető) neutronbomlás átlagosan 14 percenként következik be.