

protoni međusobnim sudarima stvaraju sudaraju deuteron (jezgra vodonikovog izotopa deuterijuma), koji, u novim sudarima s protonima, proizvode helijum-3 (lakši izotop helijuma), da bi se u daljim procesima — u kojima još učestvuju helijum-4, berilijum-7, litijum-7 i bor-8 — na kraju dobio čist helijum-4 (tabela 1).

Tabela 1. *Protonsko-protonski lanac*

$H^1 + H^1 \rightarrow D^2 + e^+ + \nu_e$	OSLOBODENA ENERGIJA 26,21 MeV
$D^2 + H^1 \rightarrow He^3$	
$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + 2H^1$	
ili	
$He^3 + He^4 \rightarrow Be^7$	26,65 MeV
$Be^7 + e \rightarrow Li^7 + \nu_e$	
$Li^7 + H^1 \rightarrow 2He^4$	
ili	
$Be^7 + H^1 \rightarrow B^8$	19,1 MeV
$B^8 \rightarrow Be^8 + e^+ + \nu_e$	
$Be^8 \rightarrow 2He^4$	
$4H^1 \rightarrow 2He^4$	

U drugom procesu odlučujuću ulogu igra ugljenik. Ceo proces je dosta dug i složen. Vodonikova atomska jezgra — protoni, koji su slobodni jer se radi o plazmi — stupaju najpre u reakciju s jednim izotopom ugljenika, ugljenikom-12. Kao rezultat, dobija se azot-13, koji se radioaktivnim raspadanjem pretvara u ugljenik-13. Ovaj se, u sudaru s protonom, pretvara u drugi izotop azota, azot-14. Ponovo dolazi do sudara s trećim protonom, čiji rezultat je stvaranje kiseonika-15, koji je radioaktivan i pretvara se u azot-15. Po četvrti i poslednji put stupa proton u akciju i razbija ovaj izotop azota na dve čestice: ugljenik-12 i atomsko jezgro helijuma, helijum-4. Sumirajući ceo proces, vidimo da smo pošli od ugljenika-12, da su u akciju stupala četiri protona, a na kraju smo opet dobili ugljenik-12 te atomsko jezgro helijuma (tabela 2). Prema tome, čist

rezultat je pretvaranje četiri vodonikova jezgra, četiri protona, u jezgro helijuma. Ugljenik je samo potpomogao ceo proces, ali se sam nije promenio u krajnjoj liniji. U hemiji se često dešava da se neka hemijska reakcija lakše izvodi u prisustvu neke materije koja se, u krajnjoj liniji, sama ne menja. Takve se materije nazivaju katalizatorima. Ugljenik bi se, slično tome, u gornjem procesu mogao nazvati nuklearnim katalizatorom. Po njemu se ceo ovaj kružni proces na Suncu naziva ugljenični ili ugljenično-azotni lanac.

Tabela 2. *Ugljenično-azotni lanac*

$C^{12} + H^1 \rightarrow N^{13}$	OSLOBODENA ENERGIJA 25,03 MeV
$N^{13} \rightarrow C^{13} + e^+ + \nu_e$	
$C^{13} + H^1 \rightarrow N^{14}$	
$N^{14} + H^1 \rightarrow O^{15}$	
$O^{15} \rightarrow N^{15} + e^+ + \nu_e$	
$N^{15} + H^1 \rightarrow C^{12} + He^4$	

U novije vreme došlo se do zaključka da na zvezdama veličine Sunca proton-protonski lanac predstavlja osnovni proces pretvaranja vodonika u helijum, dok je na masivnijim zvezdama važniji ugljenično-azotni lanac.

Jedno pitanje je sve dosada ostalo nerazjašnjeno: kako je prvi put počeo proces pretvaranja vodonika u helijum? Na koji način je prvobitno postignuta temperatura od 15 miliona stepeni i zašto se to nije dogodilo i na Zemlji?

Da bismo našli odgovor na ovo pitanje, moramo se vratiti u doba nastajanja Sunca, Zemlje i drugih planeta. Sunce je tada predstavljalo džinovski oblak gasova, čija je zapremina bila mnogo veća od današnje zapremine celokupnog Sunčevog sistema. Taj oblak se, usled delovanja sile gravitacije, vremenom koncentrisao oko jednog centra. Ovo sažimanje dovelo je do njegovog jakog zagrevanja, koje je u jednom momentu dostiglo temperaturu od nekoliko miliona stepeni, na kojoj su počele termonuklearne reakcije, a dalje se proces sam održavao.