

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 26 (1998/1999)

Številka 3

Strani 142-145

Mirjam Galičič:

O NAM NAJBLIŽJI ZVEZDI – 2. del – manj znano Sonce

Ključne besede: astronomija, Osončje, Sonce, sončne pege, helioseizmologija, nevtrini, korona, Sončev veter, Sončev dinamo.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/26/1373-Galicic.pdf>

© 1998 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

O NAM NAJBLIŽJI ZVEZDI – 2. del MANJ ZNANO SONCE

Čas je, da končno povemo še kaj o velikih vprašanih glede Sonca: o Sončevih nevtrinih, visoki temperaturi korone, nastajanju Sončevega vetra, o Sončevem vrtenju in Sončevem dinamiku.

Za velik napredek na področju solarne astronomije v zadnjem času se moramo zahvaliti številnim novim inštrumentom. Posebej pomembni so satelitski teleskopi, ki krožijo v orbitah nad nami in opazujejo Sončevo svetlobo pri tistih valovnih dolžinah, ki jih Zemljina atmosfera absorbira in je zato s površja Zemlje ne moremo zaznati. Tako ultravijolični in rentgenski teleskopi opazujejo zunanje plasti Sončeve atmosfere. Najnovejši in doslej najzmogljivejši helioseizmografski observatorij SOHO smo že omenili v prejšnjem prispevku. Observatoriji za preučevanje najglobljih plasti Sonca pa so, nasprotno, zgrajeni globoko pod Zemljino površino.

Nevtrini s Sonca

Pri jedrskih reakcijah, ki potekajo v Sončevi notranjosti, se sproščajo nevtrini. To so delci, ki potujejo s svetlobno hitrostjo. Še vedno ni jasno, ali so brezmasni ali pa vendarle imajo maso. Po zadnjih rezultatih v eksperimentalni fiziki visokih energij naj bi bila masa nevtrina pod 0.2 elektronskega volta (eV). Za primerjavo: masa elektrona je 511 000 eV.¹ Za nevtrino je značilno, da prepotuje ogromne količine snovi, ne da bi se mu karkoli zgodilo, ne da bi *interagiraj* s snovjo. Predstavljamo si lahko, da se zdi nevtrinu vse prozorno. Večina nevtrinov, ki priletijo v smeri Zemlje, tako le-to prečkajo, kot da bi bila prazen prostor. Le včasih se zgodi, da kateri reagira s kakim atomom. Na osnovi poznavanja takih reakcij gradijo nevtrinske observatorije, ki so zakopani globoko pod zemljo, tako globoko, da naj bi jih mogli doseči le nevtrini. Ti observatoriji so ponavadi ogromni sodi snovi, v kateri se včasih ustavi nevtrino tako, da atomu te snovi izbije elektron. Ocenjujejo, da vsako sekundo vsak kubični centimeter zemeljske snovi prečka 60 milijard Sončevih nevtrinov, od teh jih le zelo malo sproži reakcijo. Na osnovi števila izmerjenih reakcij ocenijo, koliko nevtrinov je šlo mimo neopaženih, oziroma kolikšno je bilo približno število vseh. Rezultati prvih nevtrinskih observatorijev

¹ V jedrski fiziki je navada, da mase delcev podajajo v eV, kar je sicer enota za energijo. Ustrezno maso v kilogramih dobimo tako, da maso v eV, ki jih še pretvorimo v joule (J), delimo s kvadratom svetlobne hitrosti. Če to res storimo npr. za elektron, vidimo, da je njegova masa v kilogramih nepredstavljivo majhna, tako da se nam zdi uporaba enote eV tudi s tega stališča smiselna.

tako kažejo približno pravilno število nevtrinov, če naj bodo jedrske reakcije tisto, kar greje Sonce. Vendar so izmerili le tretjino do polovice predvidenega števila Sončevih nevtrinov. Za to neujemanje se je kot najbolj verjetna pojavila razlaga, da morda nevtrinov še ne razumemo dobro. Vemo, da so nevtrini treh vrst, vsak pripada svojemu *leptonu* (lahkemu delcu): elektronski nevtrino elektronu, muonski nevtrino delcu z imenom *muon* in tauonski nevtrino delcu *tau*. Ker so nevtrini, ki so jih detektirali v dosedanjih nevtrinskih observatorijih, elektronski in ker jih je le približno tretjina pričakovanega števila, predpostavljajo, da nevtrini zmorejo prehajati ali *oscilirati* iz ene vrste v drugo. Tako naj bi na osem in pol minutnem potovanju od Sonca do Zemlje dve tretjini nevtrinov zamenjalo svojo elektronsko identiteto za muonsko ali tauonsko, zaradi česar jih potem nevtrinski detektorji preštejejo približno trikrat premalo. Za odgovor glede pravilnosti te ideje bodo potrebne nove meritve. Trenutno sta v izgradnji dva velika nevtrinska observatorija, eden v Kanadi, drugi pa na Japonskem. Odgovori na vprašanje o nevtrinskih oscilacijah, ki jih bosta morda pomagala najti, bodo ključnega pomena ne le za fiziko Sonca in astrofiziko, ampak tudi za jedrsko fiziko in na sploh za globlje razumevanje narave v celoti.

Temperatura Sončeve korone

Povedali smo že, da je korona najbolj zunanja plast Sončeve atmosfere. Astronome pa, kot piše Kenneth R. Lang v ameriški reviji *Sky & Telescope*, že precej dlje kot vprašanje Sončevih nevtrinov vznemirja vprašanje, kako more biti korona segreta do temperatur nekaj milijonov stopinj Kelvina. Fotosfera, ki je mnogo bližja Sončevi peči, je nekaj stokrat hladnejša, in pričakovali bi, da bo vse hladneje, ko gremo še bolj stran od peči. Zdi se, da neki mehanizem prenaša energijo v korono in jo tam odlaga ter segreva snov v koroni. Kljub pol stoletja raziskovanj pa narava tega mehanizma ostaja neznana. Novih upov vlivajo opazovanja z novjšimi satelitskimi teleskopi, ki opazujejo pri ultravijoličnih in rentgenskih valovnih dolžinah. Na srečo so spektralne črte, ki jih sevajo posamezni atomi ali njihovi ioni, zelo občutljive na temperaturo, pa tudi na gostoto in kemično sestavo snovi. Tako različne črte prihajajo z različnih višin oziroma globin Sončeve atmosfere. Astronomi se nadejajo, da bodo z natančnim opazovanjem mnogih črt dobili tridimenzionalno sliko temperature, zgradbe snovi in njenega gibanja v Sončevi atmosferi, pa tudi podatke o magnetnih poljih in različnih valovih, ki v snovi prenašajo energijo. Morda bo ob tem koga od raziskovalcev tudi prešinila ideja, kateri od fizikalnih mehanizmov bi lahko bil vzrok za izjemno visoke temperature v koroni.

Sončni veter

Korona se širi v medzvezdni prostor, vedno redkejša je, nudi pa stalen izvor ionizirane snovi, ki se pne v Osončje. Tej snovi pravimo Sončev veter. Na določeni razdalji od Sonca postane namreč njegov gravitacijski privlak prešibek v primeri s tlakom vročega plina in le-ta pobegne v obliki Sončevega vetra. Odnešeno snov nadomesti nova in tako veter neprestano piha. Meritve so pokazale, da ima hitrost odtekajoče snovi v Sončevem vetru dve komponenti, počasno in hitro. Počasna hitrost je okrog 400 kilometrov na sekundo, hitra je dvakrat tolikšna. Počasna komponenta je povezana s temperaturo korone, ni pa jasno, kako pride do hitre. Meritve s satelita Ulysses so pokazale, da snov s hitro komponento hitrosti odteka z bližine Sončevih polov. Sklepajo, da ima pri pospeševanju določeno vlogo magnetno polje. Za natančnejše odgovore pa bo treba počakati na nova opazovanja, veliki upi so spet usmerjeni v satelitski observatorij SOHO.

Vrtenje Sonca

Že več kot tri stoletja astronomi vedo, da se Sončeva fotosfera vrti hitreje ob ekvatorju kot pri večjih (heliografskih) širinah. To je v nasprotju z izkušnjami, kakršne imamo za vrtenje togega telesa, na primer krogle: če leseno kroglo nataknejo na os, vpnejo in (enakomerno) zavrtimo, potem pa narišemo pike pri različnih kroglografskih širinah in merimo časovne razmike, v katerih pike pridejo naokrog, vidimo, da so vsi izmerjeni časi ali periode (do merske napake) enaki. Tudi na Zemlji je dan enako dolg od pola preko ekvatorja do drugega pola. Pri Soncu pa je perioda rotacije ob ekvatorju 25 dni, medtem ko se proti poloma daljša, in je pri 40° širine že skoraj za tri dni daljša. S pomočjo novejših helioseizmografskih meritev so ugotovili, da se takšen vzorec vrtenja ohranja vse do dna konvekcijske plasti, kar predstavlja skoraj trideset odstotkov polmera. Pri večjih globinah se hitrost vrtenja ob ekvatorju začne upočasnjevati, proti poloma pa pospeševati! Pri približno polovici premera se obe hitrosti zlagoma poenotita in kaže, da se po premeru notranja polovica Sonca vrti enakomerno, torej kot togo telo. Za tako nenavaden vzorec vrtenja doslej še ni dobre razlage.

Sončev dinamo

Zadnje od vprašanj solarne astronomije, ob katerem se bomo na kratko ustavili, se tiče Sončevega magnetizma. Z magnetizmom v zunanjih plasteh je povezana Sončeva aktivnost. Sončne pege smo že omenili. Kako pa nastane magnetno polje, ki ima svoja pola v paru peg? Sončev plin je

dovolj vroč, da je ioniziran. Elektroni so izbiti iz atomov, tako da imamo proste negativno nabite elektrone in pozitivno nabite ione. Takemu plinu pravimo *plazma*. Plazma je električno prevodna. Če se električni prevodnik giblje preko magnetnega polja, se v njem inducira električni tok. Električni tok ustvarja novo magnetno polje. To se doda prvotnemu. Po drugi strani gibajoče se magnetno polje teži k temu, da bi povleklo prevodnik s seboj. Posledica vsega tega je, da so plini in magnetne silnice med seboj povezani – tako je v vsaki plazmi in tudi na Soncu. Plini drsijo vzdolž magnetnih silnic. Opis njihovega gibanja je zapleten, z njim je, kot že rečeno, povezana nenehna Sončeva aktivnost v obliki peg in izbruhov, ki jih lahko opazujemo tudi z Zemlje. Močni izbruhi sproščajo nakopičeno magnetno energijo, ki je ekvivalentna energiji milijard jedrskih eksplozij in ki dvigne temperaturo področij v velikosti Zemlje za desetine milijonov stopinj. Pojavljanje takšnih izbruhov teče vzporedno s ciklom sončevih peg.

Površinski magnetni pojavi pa izvirajo iz nevidnega notranjega generatorja. V astronomskih učbenikih beremo o t.i. Sončevem dinamumu. Nastajanje elektromagnetnih polj Sonca naj bi bilo podobno kot pridobivanje elektrike v elektrarnah – z vrtenjem dinamama. In kakšen naj bi bil Sončev dinamo? “Dinamo” so vroči krožeči plini globoko v notranjosti Sonca, ki se gibljejo skozi Sončevo magnetno polje, pri tem se generirajo električni tokovi, ki jih spremljajo nova magnetna polja. Ker pri magnetohidrodinamiki, ki natančneje opisuje zgoraj omenjeno, ne gre brez dolgih in težkih enačb, bo bralec, ki bi ga to utegnilo podrobneje zanimati, morda pomislil na študij fizike.

Danes pa se zdi, da model dinamama ni več v skladu z novejšimi opazovanji gibanj plinov znotraj Sonca. Nekateri tako govorijo o krizi v teoriji Sončevega dinamama. Za začasno rešitev so teoretiki Sončev dinamo zato premaknili globlje, v bližino središča, kjer se Sonce vrti enakomerno. Zagotovo vemo le, da je magnetizem, ki se dogaja globoko v notranjosti Sonca, direktno povezan z magnetizmom v površinskih plasteh in tako s Sončevo aktivnostjo. Za podrobnejše razlage o tej povezavi pa čakamo na nove opazovalne podatke, in ko bodo le-ti temeljito ovrednoteni, bodo teoretiki spet morali dopolniti stare modele. Upamo lahko, da bomo kmalu izvedeli, kaj pravzaprav so sončeve pege, ki pa jih dotlej lahko – seveda ob primernih varnostnih ukrepih za zaščito oči – opazujemo kar s šolskim teleskopom.