

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 2 (1974/1975)

Številka 4

Strani 151-159

Andrej Čadež:

SODOBNA ASTRONOMIJA

Ključne besede: astronomija.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/2/2-4-Cadez.pdf>

© 1974 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA – založništvo

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



SODOBNA ASTRONOMIJA

Že od nekdaj so imeli ljudje zvezde za del svojega sveta. Večina opazovalcev je postala pozorna na nespremenljiv raspored zvezd. Spočetka so videli v njem delo bogov. Mislili so tudi, da bi razkrili univerzalno harmonijo sveta, če bi razvozlali raspored zvezd. Komete, sončne mrke in podobne redke dogodke so večina imeli za posebna sporočila bogov. Zato so začeli ljudje zelo zgodaj opazovati nebo. Prva ohranjena sporočila izhajajo iz tretjega tisočletja pred našim štetjem.

Temelj astronomiji kot znanosti pa je postavil šele Nikolaj Kopernik. Čeprav ne gre spregledati velikih uspehov starih kultur, je bil Kopernik verjetno prvi, ki je trdno povezal eksperimentalne podatke o zaporednih legah planetov s teorijo o zgradbi vesolja. S tem je omogočil razvoj astronomije, ki je kmalu stopila v svojo zlato dobo. Na koncu 16. in v začetku 17. stoletja so delovali Tycho de Brahe, Galileo Galilei in Johannes Kepler. Spoznali so zakone o gibanju planetov, del zakonov mehanike in domnevali so, da veljajo enaki zakoni v vesolju kot na Zemlji. A najpomembnejša je bila uvedba novih eksperimentalnih in teoretičnih metod. Z njimi so postavili trdne temelje astronomije, na katerih so gradili kasnejši znanstveniki. Isaac Newton je na tej osnovi prišel do zakonov dinamike in potrdil, da so univerzalni. Sledila so zanesljiva opazovanja, izboljšave instrumentov in teorijskih prijemov, kar je privedlo do novih spoznanj. Potrdili so Newtonove zakone in domnevo o njihovi univerzalnosti.

Do danes je prehodila astronomija dolgo in uspešno pot. Sodobna astronomija je zato izredno raznolična znanost, ki goji celo vrsto opazovalnih in teoretičnih vej.

Opazovalna astronomija se je v zadnjih desetletjih tako razširila, da jo razdelimo na optično, infrardečo, radijsko, rentgensko, nevtrinsko astronomijo, astronomijo kozmičnih delcev in astronomijo gravitacijskih valov.

Optični astronomi opazujejo zvezdno svetlobo v vidnem delu spektra elektromagnetnih valov. Izredno izpopolnjena tehnika daje možnost, da dobijo veliko več podatkov kot nekoč (sl.1).



Sl.1 Brušenje teleskopskega zrcala s premerom 4 m

Zanimiva veja optične astronomije je spektroskopija. Svetlobo, ki prihaja od zvezde, razklonimo s prizmo in dobimo mavrico (spekter). V njej se pojavijo nekatere zelo ozke spektralne črte, ki so svetlejše (emisijske) ali temnejše (absorpcijske) od okolice. V atmosferi zvezd so atomi, ki se gibljejo zelo hitro zaradi visoke temperature. Pri trkih se hitri atomi razletijo na sestavne dele - na jedra in na elektrone. Zato je v atmosferi vedno dosti golih jeder in prostih elektronov. Jedro in elektron se lahko spet združita, presežek energije pa odnese pri tem foton svetlobe. Frekvenca fotona je podana z razliko energije W med začetnim in končnim stanjem atoma:

$$\nu = W/h ;$$

h je Planckova konstanta, $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js. Atom ima omejeno število energijskih stanj, tako da imajo fotoni, ki se emitirajo pri prehodih elektronov med energijskimi stanji, samo omejeno število natančno določenih frekvenc. Lestvica frekvenc je odvisna od atoma, ki seva in je značilna za element prav tako, kot so prstni otisi značilni za človeka. Z opazovanjem spektra lahko določimo se-

stav zvezde, se pravi utežna razmerja elementov, temperaturo in včasih še vrsto drugih podatkov. Po teh podatkih lahko z različnimi modeli ocenimo maso zvezde, njeno absolutno svetilnost in s tem oddaljenost od Zemlje, njen notranji sestav, starost.

Po spektru lahko večkrat izračunamo še, s kolikšno hitrostjo se zvezda oddaljuje ali približuje. Spektralne črte z oddaljujoče zvezde se nam namreč zdijo premaknjene proti rdečemu delu spektra, tiste z bližajoče zvezde pa proti modremu delu. Premik take vrste dobro poznamo pri zvoku kot Dopplerjev pojav.

Pomembni spoznanji, ki so ju odkrili z merjenji pomikov spektralnih črt, sta odkritje, da se vesolje širi in odkritje kvazarjev. V dvajsetih letih našega stoletja je Edwin Hubble opazoval nebo z velikanskim palomarskim teleskopom. Videl je veliko število zvezdnih gruč, ki nedvomno vsebujejo veliko zvezd. Zelo pazljivo opazovanja so pokazala, da so te "gruče" galaksije, ki so bolj ali manj podobne naši Rimski cesti. Uspeli so tudi oceniti, kako daleč so nekatere od galaksij. Hubble je premeril še spektre galaksij. Opazil je, da so črte v vseh spektrih premaknjene proti rdečemu delu in v nobenem proti modremu. Ugotovil je, da je pomik proti rdečemu delu spektra večji za bolj oddaljene galaksije. Iz tega je sklepal, da se oddaljujejo galaksije tem hitreje, čim bolj so oddaljene. Predstavljamo si, da so galaksije papirčki, ki so nalepljeni na gumijastem balonu. Če balon napihujemo, se papirčki oddaljujejo drug od drugega. Relativna hitrost dveh papirčkov je sorazmerna z oddaljenostjo, če napihujemo balon enakomerno. Hubbleovo odkritje tedaj pove, da se vesolje širi. Če si predstavljamo, da je bilo vesolje najprej zelo majhen "balonček", ki se je odtlej enakomerno širil, lahko iz Hubbleovih podatkov izračunamo, da je danes vesolje staro dobrih deset milijard let.

Pri razporejanju spektrov nebesnih teles so našli nekatere objekte, katerih spektrov si nikakor niso znali razložiti. Te objekte so imenovali kvazarje. Šele po nekaj letih je Maarten Schmit uspel pojasniti spektre kvazarjev z velikim rdečim premikom. Menil je, da se kvazarji oddaljujejo od nas z veliko hitrostjo in so verjetno zelo oddaljeni. Skrivnost kvazarjev s tem še ni rešena. Če so namreč kvazarji res zelo daleč, sta tudi iz navidezne svetilnosti izračunana absolutna svetilnost in energijski tok zelo velika. Svetilnost je mnogo večja kot svetilnost katerekoli galaksije. Da je mera polna, kvazarji še mežikajo. V nekaj dneh se spremeni njihov energijski tok, iz česar sklepamo, da so dosti

manjši kot galaksije. Od kod kvazarjem velika energija, če so res tako svetli? Ali pa je v zgornjih sklepih napaka? Zaenkrat je u-ganka še nerešena.

Opazovanje spektrov da toliko podatkov o zvezdah, da ga kaže razširiti na dele spektra, ki jih ne zaznamo z očmi. Zato se je iz opazovalne astronomije v zadnjem desetletju razvila infrarde-ča astronomija. Zemeljsko ozračje absorbira skoraj vso infrarde-čo svetlobo in je treba dvigniti instrument vsaj kakih 13 km nad atmosfero. To možnost pa nam daje samo zelo izpopolnjena tehnika. Za opazovanja uporabljajo letala (n.pr. francosko-angleško leta-lo Concorde), avtomatsko vodene balone in umetne satelite.

Ta veja omogoča dve posebno zanimivi vrsti opazovanj. Najzani-mivejši deli pri opazovanju oddaljenih galaksij so njihova jedra, kjer je snov najgostejša. Tam verjetno nastaja in umira mnogo zvezd in tam se odloča usoda galaksije. Jedra naše Galaksije-Rim-ske ceste ne moremo videti, ker ga zakrivajo oblaki medzvezdnega prahu, ki pa na srečo dovolj prepuščajo infrardečo svetlobo. Iz opazovanj v infrardeči svetlobi bo mogoče bolj natančno oceniti maso Galaksije, gostoto snovi v jedru in ugotoviti, koliko je tam starih in koliko mladih zvezd, itd.. Ti podatki so potrebni za razumevanje razvoja Galaksije.

Astronome zelo zanima, kako nastajajo zvezde. Verjetno se med-zvezdni plin počasi zgošča okrog spočetka le malo gostejšega jed-ra. Plin se ob tem počasi greje na račun zmanjšanja gravitacijske potencialne energije. Dokler je razmeroma hladen, ne oddaja skoraj nič vidne svetlobe, ampak predvsem infrardečo svetlobo, ki jo za-znamo z infrardečimi teleskopi. Študij zarodkov zvezd pa lahko ve-liko pove o kasnejšem razvoju zvezd.

Radioastronomija je podaljšek infrardeče astronomije. Radioas-tronomi opazujejo elektromagnetne valove, ki prihajajo k nam iz vesolja in imajo valovne dolžine od nekaj metrov do nekaj mili-metrov. Vendar so merilni načini v radioastronomiji precej dru-gačni kot v infrardeči astronomiji. Zemeljsko ozračje je na sre-čo prozorno za radijske valove in jih lahko zaznavamo celo v ob-lačnem vremenu in podnevi. Frekvenca radijskih valov je tako niz-ka, da morejo povezati več oddaljenih anten v skupino, s katero izredno natančno določijo položaj in zgradbo radijskih izvirov. Natančnost je skoraj tisočkrat večja kot natančnost optičnih te-leskopov.

Gradnja radijske antene je manj zahtevna kot gradnja velikega optičnega teleskopa. Radioteleskopi so zato lahko zelo veliki. Največji radioteleskop v Arecibu pokriva dno precejšnje doline in njegovo "ogledalo" ima premer 300 m. S tako velikim instrumentom je mogoče zaznati izredno šibke signale in zato lahko z radioteleskopi vidi mnogo dlje kot z optičnimi. Z njimi so našli najbolj oddaljene kvazarje in prve pulzarje - nevtronske zvezde, ki utripajo nekajkrat v sekundi. Z njimi lahko merijo gostoto plinov med oddaljenimi galaksijami itd. V kratkovalovnem radijskem spektru so spektralne črte nekaterih najzanimivejših molekul. Posebno znana je črta vodikove molekule z valovno dolžino 21 cm. Več skupin radioastronomov se ukvarja samo s to črto in z raznimi merjenji določajo velikosti zvezd, hitrosti plinov med galaksijami, gostoto teh plinov in vrsto drugih zanimivih podatkov.

Najzanimivejši prispevek radioastronomije je odkritje prasevanja. Ugotovili so, da izpolnjuje vesolje elektromagnetno valovanje, ki ustreza sevanju črnega telesa s temperaturo 2,7 K. Vesolje je moralo biti pred nekaj milijardami let precej gostejše in precej toplejše. Danes zaznajo radioastronomi le zelo razpet in ohlajen plin fotonov začetnega sevanja. Sedanja temperatura 2,7 K daje dragocen podatek o stanju vesolja na začetni stopnji razvoja.

Pred kratkim sta se rodili ultravijolična in rentgenska astronomija. Zemeljsko ozračje je popolnoma neprozorno za to svetlobo in je treba namestiti detektorje na umetne satelite. Ta veja je zato izključno domena Združenih držav in Sovjetske zveze. Znana sta ameriška raziskovalna načrta Uhuru in Kopernikus, ki sta imela za nalogo katalogiziranje rentgenskih izvirov v vesolju. Ugotovili so, da so rentgenski izviri spremenljivi, iz česar sklepajo, da so zelo majhni. Z optičnimi teleskopi so uspeli identificirati precej rentgenskih izvirov in potrdili so, da so izviri majhni. Rentgenske izvire so razdelili na dve skupini. Na izvire, ki močno utripajo, a nikdar ne ugasnejo, in na izvire, ki trenutno zablestijo v rentgenski svetlobi, nato pa ugasnejo. Vsi rentgenski izviri so skoraj zagotovo izredno goste zvezde z gostoto okrog 10^{14} g/cm³. Kratek in močan sunek rentgenske svetlobe je verjetno "labodji spev" take zvezde. V notranjosti zelo goste zvezde je tlak zaradi gravitacije zelo velik. Če tlak preseže določeno mejo, se zvezda "sesuje vase" v zelo kratkem času. Velik del gravitacijske potencialne energije prevzame kratek, zelo močan sunek rentgenske svetlobe. Preostane le morda nevtronska

zvezda ali črna luknja, ki ima premer nekaj deset kilometrov in maso nekaj sončnih mas. Tako pritlikavko lahko v primeru, da se nahaja v paru z rdečo orjakinjo, opazimo kot stalen rentgenski izvir. Velika količina plinov, ki izhlapeva s površja orjakinje, se ujame v močnem gravitacijskem polju pritlikavke in se tako močno segreje, da oddaja rentgensko svetlobo. Tako danes pojasnjujemo stalne rentgenske izvire.

Astronomija kozmičnih delcev je tudi zelo mlada in tudi vezana na umetne satelite, merilnike na površju Meseca in na vesoljske laboratorije. Na Zemljo prihaja od Sonca izdaten tok raznih delcev. Ta "sončni veter" daje podatke o naravi izbruhov na Soncu in o sončnem in zemeljskem magnetnem polju. Poleg tega pa prihajajo na Zemljo še razni delci iz globin vesolja. Izvirov teh delcev za sedaj še ne poznajo. Ti delci se odklanjajo v magnetnem polju v medzvezdnem prostoru, katerega narave tudi še ne razumemo. Zanimivo pa je, da so ti delci prav takšni kot delci na Zemlji. Tudi to podpira domnevo o univerzalnosti fizikalnih zakonov.

Nevtrinska astronomija in astronomija gravitacijskih valov pravzaprav še nista zares rojeni, čeprav so vanju vložili že precej dela. Obe poskušata raziskovati pojave, ki jih je zelo, zelo težko zaznati.

Nevtrini so delci, ki nosijo energijo s hitrostjo svetlobe in nimajo lastne mase. So izredno uspešni tatovi energije, ker jih skoraj nič ne ustavi. Od enega milijona nevtrinov, ki padejo na Zemljo, le eden ali dva običita v Zemlji, potem ko trčita s protonom ali nevtronom. Pri jedrskih reakcijah, za katere menijo, da tečejo v sredici Sonca, nastane ogromno nevtrinov. Merjenje nevtrinskega toka s Sonca bi pojasnilo ali imamo pravilno sliko o dogajanjih v središču Sonca. Edini dosedanji poskus še ni dal pričakovanih rezultatov. Kaže, da prihaja s Sonca vsaj šestkrat manj nevtrinov, kot so napovedovali. Kje je napaka? Poskus je izredno zahteven, saj morajo v rezervoarju s prostornino 400 m^3 (sl.2) zaznati tistih nekaj atomov, ki so se v več dnevih spremenili zaradi trkov z nevtrini. To je zagotovo težje, kot najti šivanko v kopici sena. Ali pride pri poskusu do nepredvidenega pojava? Ali je Sonce za nekaj časa ustavilo svojo atomsko peč, kar bi pokazala sprememba površinske temperature šele čez več milijonov let?

Teoretični del astronomije so nekoliko po sili razdelili na



Sl.2 Bazen za "lovljenje" sončevih nevtrinov okoli 1000 m pod površjem Zemlje

astrofiziko in kozmologijo. Astrofizika je bila rojena nekako na koncu prejšnjega stoletja, ko se je utrdilo spoznanje, da veljajo na zvezdah isti fizikalni zakoni - ne samo mehanski - kot na Zemlji. Eno izmed prvih vprašanj je bilo, od kod zvezdam energija, ki jo sevajo. Kmalu so ugotovili, da bi kemijsko gorjenje premoga ali česa podobnega bilo premalo izdatno. Sonce bi lahko živelo le nekaj deset tisoč let, če bi izkoriščalo kemijsko energijo. Tudi izkoriščanje gravitacijske potencialne energije pri krčenju je premalo izdatno, saj bi z njo Sonce svetilo le kakih trideset milijonov let. Šele v našem stoletju so spoznali, da le jedrske reakcije dajejo dovolj energije, da živi Sonce nekaj deset milijard let. To spoznanje je bilo prvi veliki uspeh astrofizike. Kmalu so

ugotovili, katere jedrske reakcije so pomembne v notranjosti zvezd, izračunali so hitrost teh reakcij, lastnosti plinov v zvezdah. Na osnovi teh podatkov so napravili modele zvezd, ki se dobro ujemajo z opazovanji. To je bil triumf astrofizike, ki dokazuje, da so fizikalni zakoni res univerzalni.

Seveda so naleteli na nekaj problemov. Našli so zvezde, za katere niso znali napraviti ustreznega modela, ali pa je model napovedal tipe zvezd, ki jih niso opazili. Izpopolnjene teoretske in eksperimentalne metode počasi polnijo vrzeli. Našli so nevtronske zvezde, ki jih je teorija napovedala pred dobrimi štiridesetimi leti. Uspeli so pojasniti lastnosti belih pritlikavk. Razvozlali so skrivnost kefeid - zvezd, ki periodično utripajo ... Seveda še nismo na koncu poti. Odpirajo se vse širša in lepša obzorja in postavljajo se vedno zanimivejša vprašanja.

Drugo področje teoretske astronomije, kozmologija, poskuša pojasniti nastanek vesolja. To področje je še razmeroma mlado in težavno, ker ima le malo zanesljivih podatkov. Prvi podatki so Hubbleov zakon, odkritje prasevanja in podatek, da sestavlja v vesolju približno $3/4$ snovi vodik, $1/4$ helij, težjih elementov pa je samo 1%. Kaže, da je vesolje nastalo z veliko eksplozijo ali velikim pokom (angl. big bang). Kozmologi se sprašujejo, kako je potekal pok, kako se je spreminjala temperatura, kdaj so začele nastajati galaksije, zakaj je vesolje tako enakomerno.

Einsteinova teorija gravitacije (splošna teorija relativnosti) lepo popiše širjenje vesolja in daje možnost, da iz opazovanj oddaljenih galaksij izluščimo podatke o njihovih lastnostih. Sprašujemo pa se, ali se bo vesolje vedno širilo? Ali se bo morda širjenje ustavilo in se bo vesolje začelo krčiti? Odgovor na to vprašanje bi dobili iz Einsteinove teorije, če bi poznali povprečno gostoto snovi v vesolju. Te gostote za zdaj še ne poznamo. Močno si jo prizadevajo določiti, vendar obstaja možnost, da je kje v vesolju snov v obliki, ki je še ne moremo zaznati. Poskušajo čim natančneje preveriti Hubbleov zakon. Ali se izmed dveh izbranih galaksij tista, ki je od nas v dvojni razdalji, v vsakem primeru oddaljuje z dvojno hitrostjo? Merjenja so težavna, ker je zelo težko določiti razdaljo zelo oddaljenih galaksij in ker najdemo pri zelo velikih razdaljah le kvazarje, ki jih za zdaj še ne razumemo. Nekateri rezultati kažejo, da Hubbleov zakon preneha veljati, ko se približujemo meji vidnega vesolja. Mogoče postaja hit-

rost širjenja za vse oddaljenejše objekte manjša, kot bi pričakovali iz Hubbleovega zakona. Če je tako, je gostota snovi v vesolju večja, kot kažejo začetna merjenja in obstaja snov v obliki, ki je ne moremo zaznati. Taka možnost so na primer nevtronske zvezde ali črne luknje. Veliko vprašanj ostaja še odprtih, vendar bodo ljudje vztrajno iskali odgovore nanje. Dosedanji razvoj kaže, da njihova prizadevanja ne bodo zaman.

Andrej Čadež
