

Radijski teleskop na Gimnaziji Šentvid



KLEMEN BLOKAR

→ Astronomski krožek na Gimnaziji Šentvid v Ljubljani je v lanskem šolskem letu v sodelovanju z Astronomskim društvom Vega - Ljubljana postavil majhen šolski radijski teleskop za vodikovo črto (1420 MHz). Čeprav se zdi, da so radioteleskopi zelo zapletene in drage naprave, je radioteleskop vendarle mogoče narediti že za manj kot tisoč evrov. Navdih za gradnjo smo dobili iz članka, v katerem je Marcus Leech opisal najskromnejši sprejemnik, s katerim lahko zaznamo vodikovo črto plinastih oblakov v naši Galaksiji (www.sbrac.org/files/budget_radio_telescope.pdf). Ker smo v načrtovanje in gradnjo radijskega teleskopa vložili kar nekaj truda in v mnogočem izboljšali predlogo Marcusa Leecha, se zdi smiselno objaviti opis te naprave, saj utegne komu pomagati na poti do izdelave radijskega teleskopa.

Preden se spustimo v podroben opis naprave, si oglejmo, zakaj sploh opazujemo vodikovo črto iz naše Galaksije. Vodikova črta je sevanje, ki nastane pri prehodu med stanjema hiperfine strukture atoma vodika v osnovnem stanju (ko imata jedro in elektron paralelni oziroma antiparalelni spin). Ta t. i. prepovedani prehod se dogaja predvsem v velikih galaktičnih oblakih hladnega vodika in je hkrati tudi edini način za njihovo neposredno zaznavanje. Zaznavanje vodikove črte nam tako razkriva informacije o naši Galaksiji, ki jih na druge načine ne moremo pridobiti. Če v bližini vodikove črte pomerimo spekter elektromagnetnega valovanja, ki ga sprejemamo iz določene smeri, lahko tako ugotovimo, ko-



SLIKA 1.

Pogled na radijski teleskop na strehi Gimnazije Šentvid

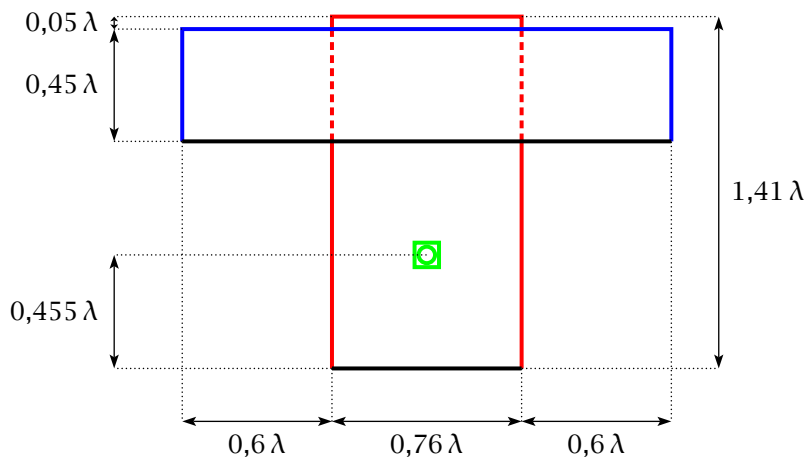
liko je v tej smeri hladnega vodika in tudi s kakšno hitrostjo se nam oblak vodika približuje oziroma se od nas oddaljuje. Informacijo o relativni hitrosti oblaka glede na Zemljo izvemo iz Dopplerjevega pojava; izjemno točno namreč poznamo frekvenco vodikove črte (1420.40575...MHz). Odstopanje zaznanih vrhov v spektru od te frekvence pa je posledica relativnega gibanja med nami in oblakom vodika, ki je sevanje oddal. Intenziteta vrhov v spektru pa je (zgolj primerjalno) merilo za količino vodika, ki ga zaznavamo. Seveda moramo upoštevati, da intenziteta sprejetega valovanja upada s kvadratom razdalje do izvora, kar nekoliko zaplete interpretacijo podatkov. A vendarle; z opazovanji vodikove črte so leta 1952 Jan Oort in sodelavci naredili prvi model porazdelitve hladnega vodika v Rimski cesti in pri tem odkrili, da ima naša Galaksija spiralne rokave.





SLIKA 2.

Shema sprejemnega elementa s strani. Rdeče je glavni valovod, modro ovratnik, črno označuje dno - tu je treba opozoriti, da ima dno ovratnika na sredi luknjo za glavni valovod. Dimenzije so označene v enotah valovne dolžine, za naš primer je to 21,106 cm.



Motivacije za gradnjo radijskega teleskopa nam torej ne bi smelo manjkati. Na srečo živimo v dobi, ko lahko vse potrebne sestavne dele kupimo za skorajda drobiž. Glavni sestavni del je USB DVB-T ključek za sprejem digitalne televizije, ki nam lahko služi kot sprejemnik za radijske valove med 24 MHz in 1850 MHz - torej tudi na zelenem območju vodikove črte. Za sprejem signalov iz Galaksije potrebujemo še dovolj veliko anteno, nizkošumni ojačevalnik za prvo stopnjo ojačitve signala, sito, ki odstrani neželene zemeljske motnje, in dva ojačevalnika satelitskega televizijskega signala. Za anteno zadošča že krožnik za sprejem satelitske televizije premera okoli enega metra. Tako pravi Marcus Leech, a ker velikost krožnika določa tako širino snopa antene (in s tem ločljivost radijskega teleskopa) kakor tudi njeno občutljivost, predlagamo, da si privoščite čim večji parabolični krožnik.

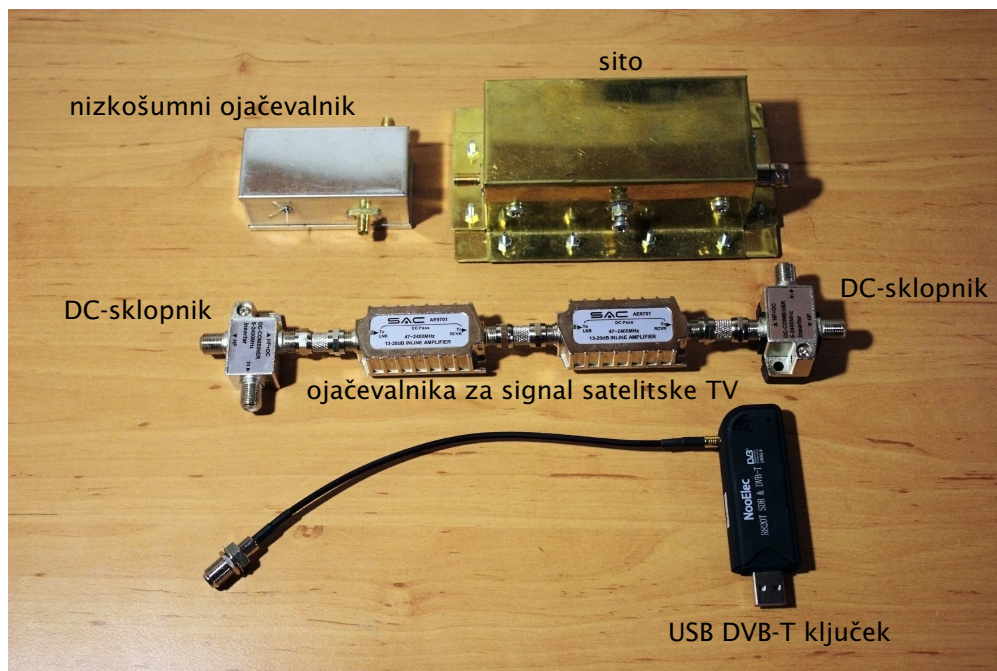
Naša parabolična antena ima premer 1,9 m, goriščna razdalja je 80 cm. Antena je izdelana iz aluminijastih naper, prekritih s kovinsko mrežo. Sprejemni element antene je izdelan po optimirani predlogi VE4MA (lonec z dušilnim ovratnikom). Mere sprejemnega elementa so odvisne od razmerja med goriščno razdaljo f in premerom parabole D (f/D) ter seveda od valovne dolžine valovanja, ki ga želimo sprejemati; v našem primeru je to $\lambda = 21,106$ cm. Za našo parabolo ($f/D = 0,42$) se izkaže za primernega lonca s premerom $0,76 \lambda$ in dolžino $1,41 \lambda$ (dolžina lonca ni strogo omejena; ne sme pa biti lonca prekratek, predolg pa ni praktičen). Sprejemna palčka se nahaja $0,455 \lambda$ od zadnje stene lonca in je

dolga približno $0,23 \lambda$ - končno dolžino smo določili eksperimentalno, s postopnim krajšanjem in sprotnim merjenjem odbojnosti. Dušilni ovratnik je širok $0,6 \lambda$ in globok $0,45 \lambda$, ustje ovratnika pa je glede na ustje lonca pomaknjeno za $0,05 \lambda$ proti zaprtemu delu lonca. Pri namestitvi sprejemnega elementa na parabolo je treba lonca postaviti na tako razdaljo, da je gorišče parabole znotraj lonca, in sicer 4,7 cm od njegovega ustja.



SLIKA 3.

Sprejemni lonca, fotografiran z vrha. Sprejemna palčka se lepo vidi. Bel plastični obroč (nekoč okvir vrat pralnega stroja) je nosilec za ravno ploščo pleksi stekla, kar preprečuje vdor vode in hkrati še vedno omogoča pogled v sprejemni lonca (didaktična nužnost!).


SLIKA 4.

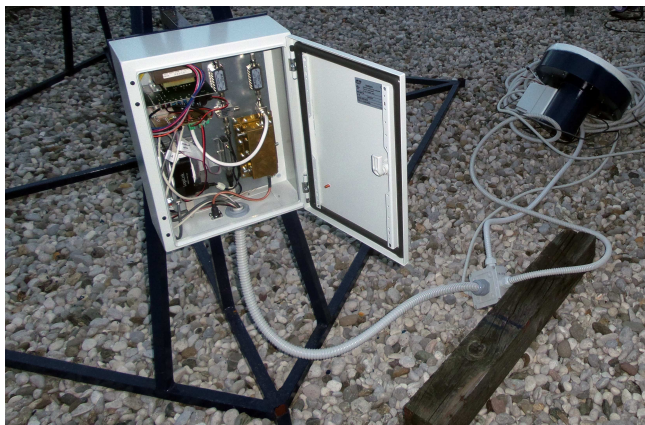
Vse glavne komponente sprejemne verige, na sliki manjkajo le povezovalni koaksialni kabli.

Sprejemna palčka je spajkana na sredinski vodnik SMA konektorja, ki je s prirobnico privit na lonec. Za lažjo pritrditev ravne prirobnice konektorja na ukrivljeno površino lonca smo uporabili majhno medeninasto ploščico, ki je na eni strani ravna, na drugi pa pobrušena tako, da se prilega krivini lonca. Skoznjo smo zvrtili luknjo, katere premer je enak premeru dielektrika v konektorju, in manjše luknje z navoji za vijake, nato pa smo ploščico prispajkali na lonec. Neposredno na konektor (ta mora biti zato tipa SMA-moški) je privit nizkošumni predojačevalnik. Predojačevalnik v našem teleskopu je razvil britanski radioamater Sam Jewell, G4DDK, pri katerem je tudi mogoče kupiti komplet vseh potrebnih komponent ojačevalnika (www.g4ddk.com). Te morate nato sestaviti in spajkati sami. Delovanje ojačevalnika je po izdelavi treba preveriti in ga uglasiti tako, da dosežemo čim nižje šumno število. Stabilnost ojačevalnika preverimo s spektralnim analizatorjem, za uglasitev pa potrebujemo ustrezen merilnik šumnega števila. Nam je pri tem izdatno pomagal Leon Pavlovič iz Laboratorija za sevanje in optiko ljubljanske Fakultete za elektrotehniko. Pomagal nam je uglasiti tudi pasovnoprepustno sito (filter), ki stoji za predojačevalnikom in je namenjeno slabljenju neželenih signalov na bližnjih frekvencah (GSM, UMTS, vojaški signali).

Nizkošumni predojačevalnik je pred vremenskimi vplivi treba zaščititi z vodotesnim ohišjem, signale pa po dobrem 50-ohmskem koaksialnem kablu (mi smo uporabili kabel TriLan) spraviti do preostalega dela sprejemne verige. Ta naj ne bo predaleč stran (prevelike dolžine namreč prinesejo znatno slabljenje signala). Tudi sprejemni lonec je potrebno na odprtem delu pokriti s plastičnim/pleksi pokrovom, da se v njem ne nabira voda, kadar je antena pospravljena in je lonec obrnjen navzgor.

Preostala sprejemna veriga sestoji iz pasovnoprepustnega filtra za 1420 MHz, dveh ojačevalcev za ojačitev signalov satelitske televizije in USB-ključka za sprejem DVB-T, ki deluje kot univerzalni radijski sprejemnik. Tega ne zmore kar vsak ključek, zato moramo biti pri nakupu pozorni, da izberemo pravega. Bistveno je, da ima ključek v drobovju čip Realtek RTL2832U, ki mu družbo dela mešanik. Ta zmore nastaviti frekvenco na 1420 MHz: trenutno so takšni čipi Elonics E4000, Rafael Micro R820T ali R828D. Za omenjeni čip Realtek RTL2832U potrebujemo le še računalniški gonilnik, ki zna vključiti razhroščevalni način delovanja, v katerem čip ne dekodira televizijskega signala. Računalniku pošilja surove signale, ki jih lahko s programi poljubno obdelamo. Vse našteje komponente je potrebno povezati, kar pa ni povsem preprosto, saj so priključki na na-



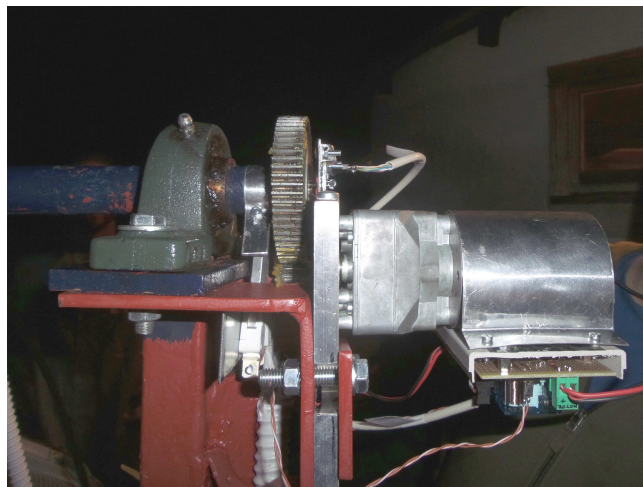


SLIKA 5.

Pogled v nameščeno omarico, v kateri domuje večina elektronike. Vidimo tudi »hobotnico« kablov, ki povezujejo periferne naprave (predojačevalnik, motor, senzor) z omarico in dovajajo napajanje ter omogočajo mrežni dostop do računalnika.

pravah različni. Tako potrebujemo adapter s konektorja na USB-ključku na konektor tipa F in dva DC-sklopnika, ki v ustrezni odsek sprejemne verige pripeljeta enosmerno napetost za napajanje obeh dodatnih ojačevalcev. Hkrati omenjena sklopnika preprečita, da bi enosmerna napetost poškodovala sprejemnik ali povzročila kratek stik na situ.

Dimenzije ohišja sita in dolžine resonatorjev v njem smo izračunali s spletnim obrazcem na strani www.wa4dsy.net/cgi-bin/idbpf (tam lahko prenesete tudi kodo C++ programa, ki v ozadju spletne strani opravi izračun). Sito smo nato izdelali sami. Sestoji iz medeninaste škatle dolžine 11,5 cm, širine 5,28 cm in višine 4 cm. V škatli so trije kovinski »prsti« debeline 1 cm, pritrjeni so na eno od daljših stranic, po višini centrirani. Med seboj so razmaknjeni za 4,25 cm, skrajna dva pa sta 1,5 cm odmaknjena vsak od svojega roba škatle. Robna prsta sta dolga 4,44 cm, srednji pa 4,322 cm. Na nasprotni stranici škatle pripravimo luknje za vijake, ki ležijo nasproti vsakemu prstu in služijo finemu uglaševanju filtra. Na krajši stranici filtra pritrdimo konektorja, ki ju s kovinskim trakom povežemo vsakega s svojim robnim prstom. Priključno mesto na prstu določa impedanco vhoda oziroma izhoda filtra: za 50 Ω mora biti priključek na prst povezan 0,53 cm od stene škatle, za 75 Ω pa 0,65 cm od stene. Naše sito je narejeno tako, da ima na vhodni strani impedanco 50 Ω



SLIKA 6.

Stranski pogled na motor in prenos, ki poganja os antene. Pod motorjem je nameščena krmilna elektronika za pogon motorja, tik ob osi antene (poleg velikega zobnika) pa je senzorja zasuka osi. Med ležajem in velikim zobnikom na osi lahko opazimo tudi končna stikala, ki preprečujejo, da bi se antena vrtela v krogu in se poškodovala zaradi zapletanja kablov.

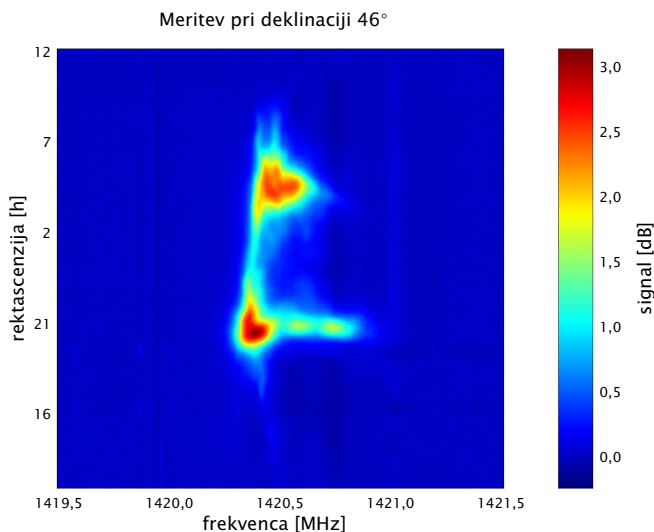
(kar je standard za večino profesionalnih in radioamaterskih radijskih naprav ter s tem tudi za naš nizkošumni predojačevalnik) in na izhodni strani 75 Ω (kar je standard za televizijsko tehniko). Pasovna širina našega sita je 111 MHz, kar je morda nekoliko preširoko in bomo zaradi radijskih motenj iz okolice sito mogoče zamenjali z ožjim (pasovna širina okoli 20 MHz).

Možgane našega teleskopa predstavlja mali računalnik Raspberry Pi, ki poleg tega, da sprejema signal z USB DVB-T ključka, krmili tudi višino antene. Ta je namreč pritrjena na stojalo, ki omogoča le obračanje po višini, saj nam razmeroma širok snop antene (približno 10°) omogoča, da posamezni nebesni objekt spremljamo tudi do pol ure, preden nam zaradi vrtenja Zemlje uide iz polja. Tako z nastavitvijo višine (ker je antena obrnjena v smeri sever-jug, tako neposredno izbiramo kar deklinacijo) in s čakanjem na primerno uro dneva lahko opazujemo poljuben del neba. Krmiljenje elevacije smo izvedli preko priključkov GPIO (angl. General Purpose Input/Output) na Raspberry Pi. Dva releja preklapljata smer obračanja elektromotorja, s pulzno-širinsko modulacijo pa krmilimo hitrost vrtenja motorja, da počasi pospe-

šimo anteno in jo nato spet počasi ustavimo. Kót, v katerega je antena obrnjena, zaznavano s senzorjem AS5048, ki s Hallovimi sondami meri orientacijo magnetnega dipola, ki je pritrjen na os antene. Senzor in računalnik se pogovarjata po SPI protokolu preko priključkov GPIO. Kodo za krmiljenje teleskopa lahko dobite na naslovu software.ad-vega.si, sprejem signala z USB DVB-T ključka in pretvorbo signala v spekter (FFT) pa lahko na sistemu GNU/Linux opravite bodisi s programom gnuradio (gnuradio.org) bodisi z rtl-sdr (sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr#Software).

Sprejemno verigo radijskega teleskopa, računalnik in napajanje smo pospravili v električno omarico, ki nam jo je prijazno podarilo podjetje Telmak d.o.o. iz Logatca. Komunikacijski (ethernet) kabel za teleskop pa nam je podarilo podjetje Tech Trade Center d.o.o.

Stojalo smo izdelali iz železnih profilov 30 × 30 × 2 mm; skupno smo porabili štiri cevi, dolge 6 m. Stojalo je zasnovano tako, da na tleh leži kvadrat s stranico okoli 2 m, z nasprotnih vogalov kvadrata pa štrilita navpična drogova, ki podpirata ležaja osi teleskopa. Na enem od drogov sta še pritrđišči za motor in omarico z elektroniko. Za protiutež antene smo uporabili kar dve stari avtomobilski platišči. Motor



SLIKA 7.

Signal, ki ga v obdobju zvezdnega dneva sprejememo na deklinaciji 46° severno.

za obračanje osi, njegov krmilnik in senzor zasuka osi so pred padavinami zaščiteni s škatlo iz pleksi stekla.

× × ×

Astronomska literatura

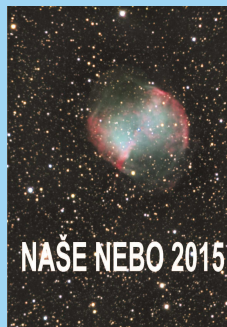


**Govert Schilling,
Lars Lindberg Christensen**

OČI, ZAZRTE V NEBO
400 let odkritij s teleskopi

136 strani
format 17 × 24 cm
trda vezava, barvni tisk

24,99 EUR



**Dintinjana, Fabjan,
Mikuž, Zwitter**

NAŠE NEBO 2015
Astronomske efemeride

84 strani
format 16 × 23 cm
mehka vezava

10,00 EUR

Ponujamo še veliko drugih astronomskih del. Podrobnejše predstavitve so na naslovu:

<http://www.dmfa-zaloznistvo.si/astro/>

Individualni naročniki revije Presek imate ob naročilu pri DMFA-založništvo 20 % popusta na zgornje cene. Dodatne informacije lahko dobite v uredništvu Preseka po telefonu (01) 4766 553.