

TELESKOP ZA OPAZOVANJE RADIJSKEGA SIGNALA MOLEKULE OH

ROK VOGRINČIČ¹, ANDREJ BREŠAN², VID
PRIMOŽIČ³

Sprejeto
11. 12. 2025

Izdano
31. 3. 2026

¹ SANDOZ (Lek farmacevtska družba d.d.), Ljubljana, Slovenija; e-pošta:
rokvogrincic@gmail.com

² Licej Trubar Gregorčič v Gorici, Gorica, Italija

³ Flycom Technologies d.o.o., Ljubljana, Slovenija

DOPISNI AVTOR
rokvogrincic@gmail.com

Ključne besede:

radijska
astronomija,
OH
emisija,
radijski
teleskop,
OH
MASER,
radijski
sprejemnik

Povzetek Emisija molekule OH je eden najpomembnejših pokazateljev prisotnosti vode v vesolju. Ta molekula nastane, ko ultravijolična svetloba razcepi molekulo vode na OH in H. Molekule OH oddajajo značilno radijsko svetlobo pri valovni dolžini okoli 18 cm, kar ustreza frekvenci okoli 1700 MHz. Značilni izvori OH emisije so MASER-ji (naravni izvori stimulirane emisije), ki jih najdemo v zvezdnih porodnišnicah ter v ovojnicah umirajočih zvezd. Emisijo je mogoče opazovati tudi pri aktivnih kometih, z njo pa lahko merimo količino vode, ki jo je komet izgubil tekom potovanja mimo Sonca ter za sledenje njegove aktivnosti. V Sloveniji sta trenutno dva radijska teleskopa, katerih namen je opazovanje emisije molekule OH. Prvi se nahaja na Krasu, v kraju Nova vas, v občini Miren-Kostanjevica, drugi pa v Prekmurju, na Goričkem, v kraju Panovci. Konstrukcija teleskopov obsega parabolično anteno ter sistem za krmiljenje, radijsko sprejemno linijo ter računalniško opremo za obdelavo podatkov. Teleskopa bosta v polni operativnosti delovala sinhrono, združena v približno 230 km dolg interferometer, s tem pa bosta tvorila največji radijski teleskop v Sloveniji. Služila bosta znanstvenim raziskavam, izobraževanju študentov naravoslovnih in tehniških smeri ter promociji znanosti.



1. Uvod

Na Krasu, v kraju Nova vas, ki leži v občini Miren-Kostanjevica, je 15. novembra 2025 zaživel teleskop za opazovanje radijskega signala molekule OH, ki je večletni projekt Zavoda za radijsko astronomijo (ZARAS). Projekt, ki je sprva temeljil predvsem na podpori donatorjev in sponzorjev, se je skozi leta razvil v obsežen znanstveno-tehnični podvig, pri katerem so sodelovali številni partnerji: Astronomsko društvo Kmica, občina Miren-Kostanjevica, Fakulteta za matematiko in fiziko v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani ter Univerza v Novi Gorici. Izjemno podporo so nam nudila tudi evropska sredstva iz sklada Interreg, s katerimi smo uredili lokacijo opazovalnice v Novi vasi in zgradili celotno pripadajočo infrastrukturo. Z otvoritvijo teleskopa se začneja ključno poslanstvo zavoda, to je redno izvajanje astronomskih opazovanj v znanstveno-raziskovalne namene, izobraževanje študentov naravoslovnih ved, poljudno-znanstvena predavanja ter vodeni ogledi za javnost. Radijski teleskop s premerom 2,4 metra bo opazoval emisijo molekule OH, prva opazovanja pa se bodo začela v letu 2026.

2. Namen projekta

Primarna naloga tega teleskopa je merjenje prisotnosti vode v vesolju z opazovanjem signala, ki ga oddaja molekula OH (molekula vode H_2O se v vesolju zaradi sevanja razcepi na molekulo OH in atom H) pri valovni dolžini 18 cm oziroma pri frekvenci okoli 1700 MHz. Molekula OH je ena izmed najbolj pogostih molekul v vesolju in jo lahko najdemo v skoraj vseh vesoljskih objektih. Prisotna je tako v molekularnih oblakih plina, ki jih z optičnimi teleskopi vidimo kot meglice, v njihovi notranjosti pa nastajajo zvezde; kot tudi v ostankih najmočnejših eksplozij, v vesolju znanih kot supernove. Najdemo jo v oblaku plina, ki nastane, ko se zvezda z velikostjo, podobno našemu Soncu, bliža koncu svojega življenja. Njen signal je lahko tudi tako močan, da pripotuje do nas iz zelo oddaljenih galaksij. Molekulo OH najdemo tudi v manjših telesih našega sončnega sistema, kometih. Opazovanje tega signala nam nudi informacijo o razmerah v opazovanem območju, kot so na primer temperatura, gostota, magnetno polje in hitrost opazovanega objekta. S pomočjo navedenih parametrov bomo dobili globlji vpogled v možnosti razvoja življenja drugod po vesolju, poleg tega pa nam bo raziskovanje pomagalo pri iskanju odgovora o izvoru vode na našem planetu.

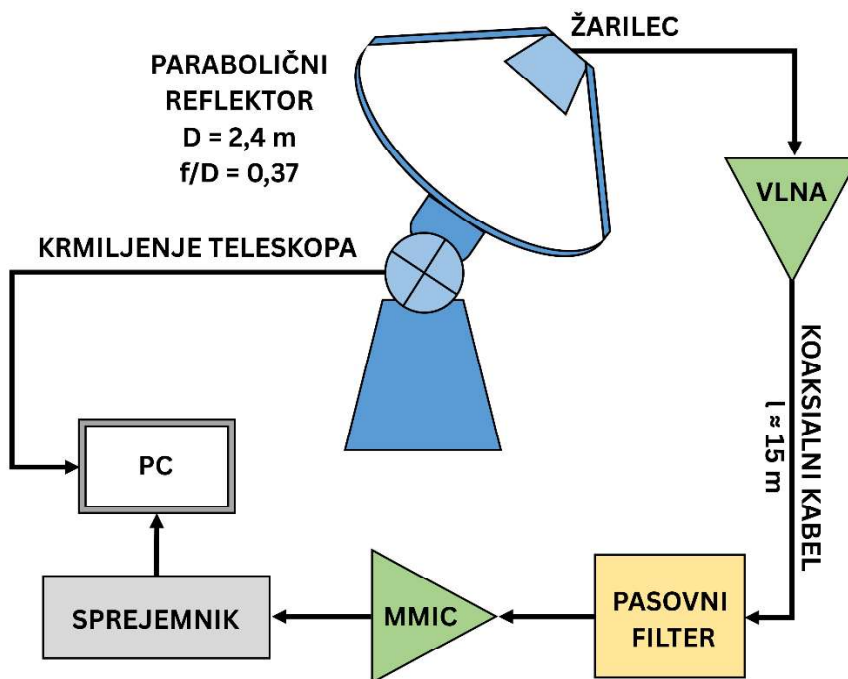
3. Nastanek radijskega valovanja

Radijsko valovanje je elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami od milimetra do več metrov. Za njihovo zaznavo potrebujemo instrument, ki pretvori radijsko valovanje v izhodni signal, ki ga lahko slišimo ali vidimo. Valovna dolžina radijskega valovanja je običajno izražena v metrih, frekvenca pa v MHz (megahertz, $1 \text{ Hz} = 1/\text{sekunda}$). Radijsko valovanje je tesno povezano z gibanjem elektronov. Ko se gibanje elektrona spremeni, na primer, ko pospeši ali pojema, povzroči motnjo v okoliškem električnem polju, in tako ustvari elektromagnetno valovanje. Če elektron oscilira (se premika naprej in nazaj) pri določeni frekvenci, bo oddajal radijsko valovanje z nihajočimi električnimi in magnetnimi polji pri tej frekvenci. V primeru radijskega sprejemnika vpadno radijsko valovanje s svojo komponento električnega polja povzroči gibanje elektronov v sprejemni anteni, to pa inducira električni tok, ki niha s frekvenco vpadnega radijskega valovanja.

4. Delovanje radijskega teleskopa

Za zbiranje radijskega valovanja uporabljamo parabolični reflektor (zrcalo), ki usmeri valovanje v žarilec, od koder se prenese na sprejemnik prek sprejemne linije (glej sliko 1). Površina reflektorja radijskega teleskopa ne more biti stekleno zrcalo, kot smo ga vajeni pri optičnih teleskopih, ki delujejo v vidnem območju, temveč mora biti kovinsko, da se radijsko valovanje od njega odbije. Večje kot je zrcalo, več svetlobe zbere in višjo ločljivost doseže. Radijsko valovanje, ki ga zbere žarilec, gre nato skozi predojačevalec (VLNA), katerega glavni namen je, da ojača prejeti signal. Temu sledi pasovni filter, ki zoža frekvenčno območje na tisto, ki nas zanima. Nato sledi serija ojačevalcev (MMIC), ki dodatno ojačajo prepuščen signal iz filtra. Ta gre potem v radijski sprejemnik, ki signal izmeri, ter se na računalniku (PC) zabeleži in shrani. Računalnik skrbi tudi za komunikacijo s teleskopom in ga krmili, da lahko teleskop sledi gibanju nebesnih objektov. Najpomembnejše zahteve za občutljiv radijski sprejemnik so:

- Radijski elementi ne smejo povzročati občutnega šuma.
- Vhod mora imeti široko pasovno širino.
- Izhod mora biti povprečen čez čim daljše obdobje, ki mu pravimo integracijski čas.

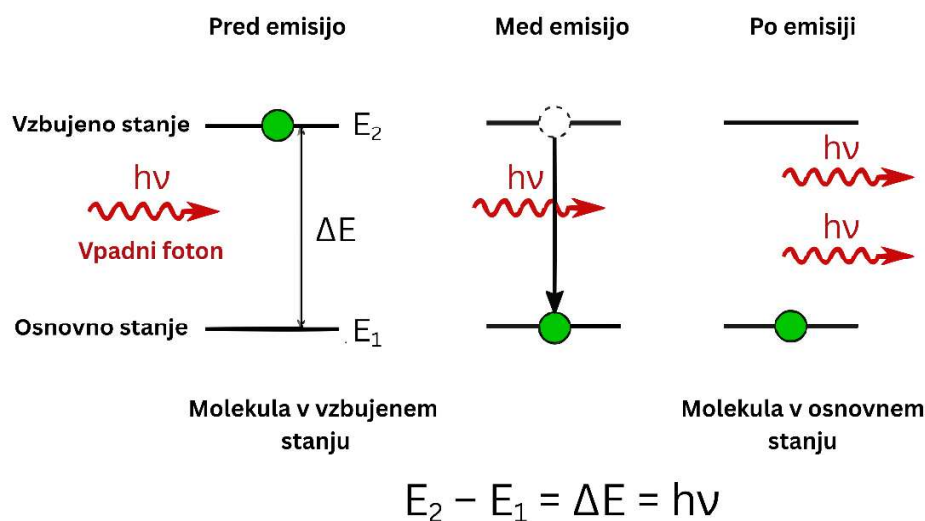


Slika 1: Blokveni načrt radijskega teleskopa in sprejemne linije

5. Nastanek emisije molekule OH

Glavni proces za nastanek emisije (signala) molekule OH poteka v nebesnih objektih, ki so naravni izvori stimulirane emisije (MASER-ji). Pogoji za nastanek take emisije je, da molekula OH v osnovnem energijskem kvantnem (oz. diskretnem) stanju absorbira foton (svetlobo) z višjo energijo. To je običajno svetloba v infrardečem (IR) območju, ki jo oddajajo prah ali pa bližnje zvezde. Ta vzbudi molekulo OH v višje energijsko kvantno stanje (glej sliko 2). Po vzbuditvi pride do spontanega nižanja energijskega kvantnega stanja, običajno v več manjših korakih. V območju, kjer je molekul OH veliko, hkrati pa imajo te molekule stalen dotok IR svetlobe, pride do t.i. inverzije energijskih nivojev, višja stanja so namreč bolj zasedena od osnovnih stanj. Inverzija energijskih nivojev se pri molekuli OH zgodi pri točno določenih energijah, ki ustrezajo naslednjim frekvencam: 1612, 1665, 1667 in 1720 MHz. Če torej mimo vzbujene molekule OH pride foton z ustrežno energijsko razliko, lahko spodbudi vzbujeno molekulo OH, da preide v nižje

energijsko stanje, ob tem pa nastane novi foton (svetloba) z enako energijo, fazo, smerjo in polarizacijo. Ta foton lahko nato spodbudi še več molekul OH, da nastane še več fotonov. Temu pravimo koherentno ojačenje. Ker se ta proces ponavlja, dobimo ozko, intenzivno in koherentno emisijo.



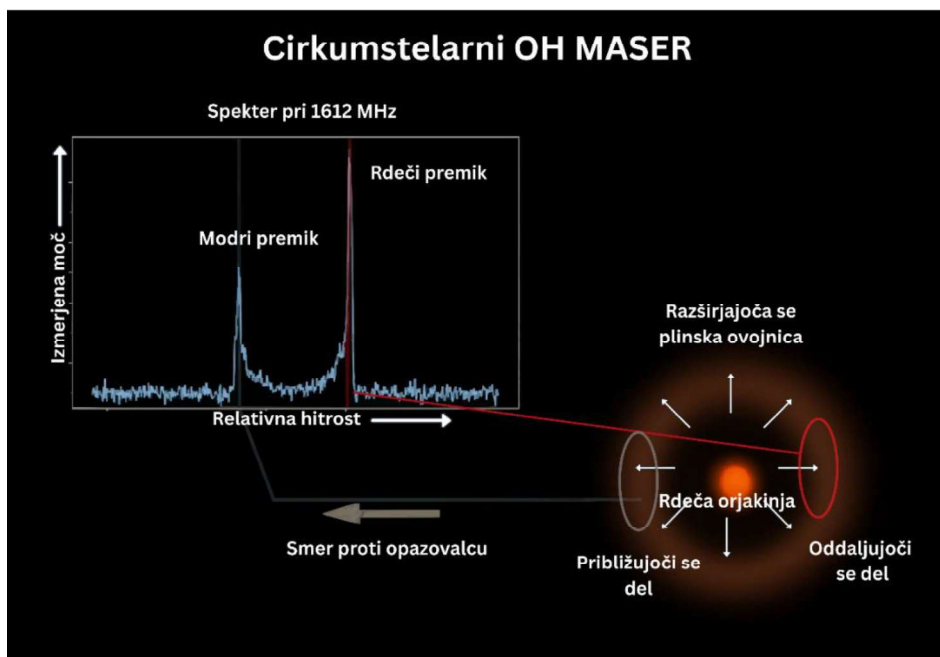
Slika 2: Shema procesa nastanka OH emisije z naravnim izvorom stimulirane emisije (MASER)

Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated_emission

6. Izvor emisije molekule OH

Posebnost opazovanja OH MASER emisije je, da omogoča določanje hitrosti izvora z Dopplerjevim premikom. Dopplerjev premik izrazimo kot relativno spremembo valovne dolžine (ali frekvence). Če se na primer izvor, ki vsebuje molekule OH, giba proti nam, postane valovna dolžina opazovane emisije nekoliko krajša, medtem ko se valovna dolžina poveča, če se izvor od nas oddaljuje. Tako lahko ugotovimo hitrosti izvorov, s tem pa dobimo pomembno znanje o gibanju medzvezdnih oblakov ter o strukturi in rotaciji galaksije. Primer takih izvorov so cirkumstelarni MASER-ji, ki jih najdemo okoli rdečih orjakinj (glej sliko 3). Taka zvezda je obdana s plinsko ovojnico, ki se širi stran od zvezde. Če opazujemo tak izvor, potem bo nam približujoči se del ovojnice povzročil modri premik v opazovanem spektru emisije

OH, oddaljujoči se del pa rdeči premik. S pomočjo tega bomo ocenili hitrost in velikost plinaste OH ovojnice zvezde.



Slika 3: Primer izvora OH emisije in premik emisijskih črt v spektru zaradi Dopplerjevega efekta

Vir: <https://www.camras.nl/en/blog/2024/oh-masers-detected-with-the-dwingeloo-telescope>

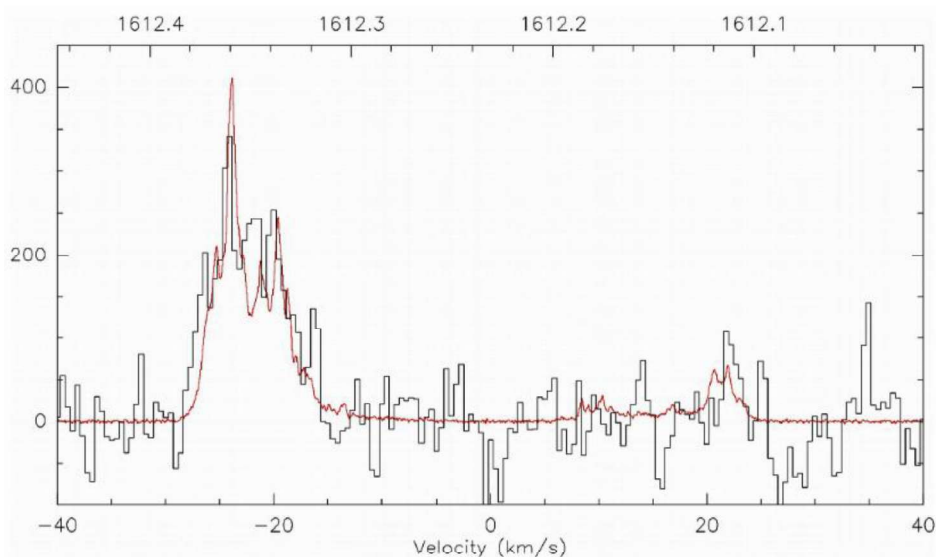
7. Opazovalni predlogi

V nadaljevanju sta predstavljena dva primera svetlih radijskih izvorov, na katerih bomo naš teleskop preizkusili.

7.1 NML Cygni (OH 90.8 – 1.9)

NML Cygni je rdeča hiper-orjakinja v ozvezdju Laboda (Cyg). Je ena izmed najsvetlejših in najmasivnejših hladnih hiper-orjakinj v Galaksiji. Oddaljenost te zvezde od Zemlje znaša okoli 1,6 kpc (5300 svetlobnih let). Zvezda je del OB2 asociacije v Labodu, ki pokriva približno 2° na nebu, oziroma ~ 30 pc. Gre za delno-spemenljivo zvezdo s periodo 1280 ali 940 let, ki se nahaja v zgornjem desnem kotu HR diagrama. Bolometrični izsev zvezde znaša 500.000 izsevov Sonca, radij zvezde

meri 3740 radijev Sonca. Trenutno ocenjena masa znaša med 25 in 50 mas Sonca. NML Cygni je v pozni fazi razvoja, njena atmosfera pa vsebuje težje elemente in molekule, predvsem OH in H₂O. Meglica, ki obkroža zvezdo kaže podolgovato asimetrično obliko. Opazovanja kažejo, da ima zvezda dve diskretni optično gosti ovojnici plina in prahu. Nastanek ovojnic je posledica močnega zvezdnega vetra, ki ima hitrost okoli 23 km/s. Opazovanje bomo izvedli z 2,4 metrsko parabolo, s Kumar-K4 tipom žarilca v gorišču, izdelanega za frekvence med 1600 in 1700 MHz. Uporabili bomo filter s centralno frekvenco 1612 MHz, s pasovno širino 0.5 MHz. Integracijski (ekspozicijski) čas bo znašal okoli 6 ur, pri čemer pričakujemo pojav dveh spektralnih črt okoli centralne frekvence. Vrh najmočnejše črte ocenjujemo na okoli 520 Jy (Jansky, 1 Jy = 10⁻²⁶ Wm⁻²Hz⁻¹).



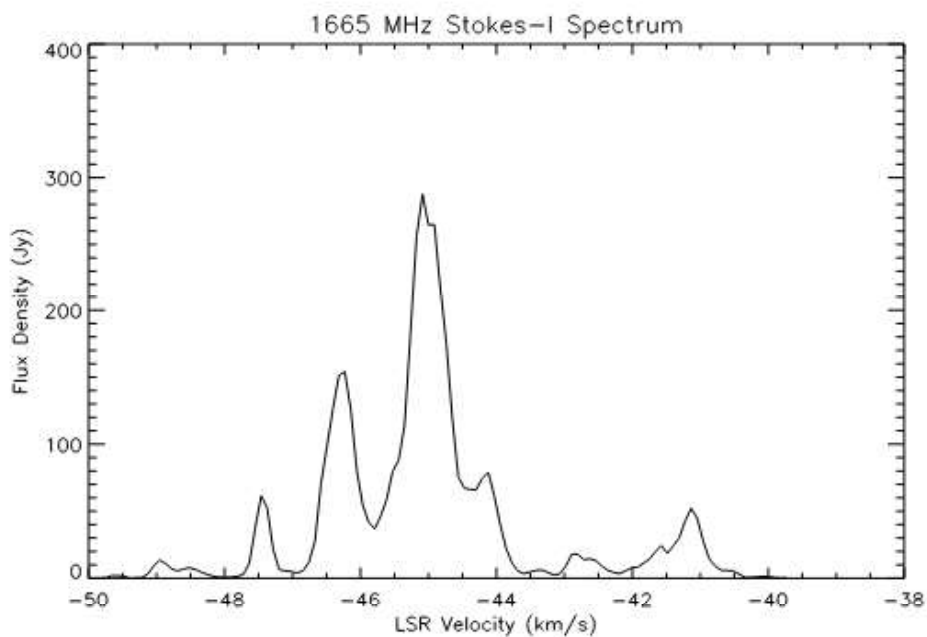
Slika 4: Slika prikazuje meritev OH emisije okoli zvezde NML Cygni pri centralni frekvenci 1612 MHz. S črno črto je prikazana meritev s 3 metrsko parabolo pri integracijskem času 2,5 ur; z rdečo črto je označena meritev s 25 metrsko parabolo podobnega integracijskega časa

Vir: <http://parac.eu/projectmk15.htm>

Namen opazovanja je poiskati vrhove in širine emisijskih črt ter oceniti hitrost približujoče se in oddaljajoče se ovojnice zvezde. Črti bomo med seboj primerjali in ocenili njuno medsebojno razmerje širin. Meritve bomo opravili večkrat, vedno z enakim integracijskim časom. Opazovali bomo časovni zamik spremembe jakosti obeh črt ter poskusili oceniti polmer plinaste OH ovojnice zvezde.

7.2 W3(OH)

Gre za območje nastajanja zvezd, ki je od nas oddaljeno okoli 1,9 kpc (6200 svetlobnih let) in leži v spiralnem rokavu Galaksije. Območje meri približno 2° na nebu in leži v ozvezdju Kasiopeje (Cas). Glavna zanimivost tega območja je študija novorojenih, masivnih zvezd, ki segrevajo prah in plin v njihovi okolici. Opazovanje bomo izvedli z 2,4 metrsko parabolo, s Kumar-K4 tipom žarilca v gorišču, izdelanega za frekvence med 1600 in 1700 MHz. Pri opazovanju bomo uporabili 2 različna filtra, prvega s centralno frekvenco 1612 MHz s pasovno širino 0,5 MHz in drugega pri centralni frekvenci 1667 MHz s pasovno širino 5 MHz. Opazovanje bomo izvedli v dveh nočeh, pri čemer bo znašal integracijski (ekspozicijski) čas za posamezni filter okoli 5 ur. Opazovali bomo emisijsko črto pri 1612 MHz ter črti pri 1665 in 1667 MHz.



Slika 5: Slika prikazuje spekter molekularnega oblaka W3(OH), pri centralni frekvenci 1665 MHz. Vrh gostote toka znaša okoli 300 Jy. Meritev je bila opravljena s 25 metrsko parabolo

Vir: M. M. Wright, M. D. Gray, P. J. Diamond, The OH ground-state masers in W3(OH)

Namen tega opazovanja bo primerjati intenzitete in širine emisijskih črt ter oceniti radialne hitrosti opazovanega območja. S pomočjo tega bomo lahko ocenili hitrost s katero se opazovani oblaki gibajo okrog središča Galaksije.

8. Zaključek

Projekt izgradnje radijskega teleskopa, ki se je začel leta 2017, je uspešno zaključen. Na spodnjih slikah si lahko ogledate nekaj utrinkov z nedavne otvoritve teleskopa v Novi vasi, celoten potek izgradnje pa je dostopen na spletni strani <https://zaras.si/dnevnik/>.



Slika 6: 2,4-metrski radijski teleskop za opazovanje emisije molekule OH v vesolju. Teleskop stoji v kraju Nova vas v občini Miren-Kostanjevica



Slika 7: Slavnostno rezanje kabla ob otvoritvi radijskega teleskopa v Novi vasi, 15. 11. 2025. Na sliki so ustanovitelji Zavoda za radijsko astronomijo, od leve proti desni: Rok Vogrinčič, Andrej Brešan, Vid Primožič



Slika 8: Radijski teleskop s kontrolno hiško v ozadju. Predstavitev projekta javnosti.

Z velikim optimizmom zremo v leto 2026, ki bo prelomno za radijsko astronomijo v Sloveniji. Pred nami so namreč prva opazovanja izvorov emisije OH, s katerimi bomo lahko razkrili strukturo in kinematiko teh izjemno zanimivih nebesnih objektov.

Literatura in viri

- Cirkumstelarni OH maser. Dostopno na: <https://www.camras.nl/en/blog/2024/oh-masers-detected-with-the-dwingeloo-telescope/> (Dostopano 3. 12. 2025)
- M. M. Wright, M. D. Gray, P. J. Diamond, The OH ground-state masers in W3(OH) – I. Results for 1665 MHz, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 350, Issue 4, June 2004, Pages 1253–1271. Dostopno na: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2004.07572.x>
- Project MK15: Masers; the OH molecule detection in NML cygni / OH80.8-1.9. Dostopno na: <http://parac.eu/projectmk15.htm> (Dostopano 3. 12. 2025)
- Stimulirana emisija. Dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated_emission (Dostopano 3. 12. 2025)