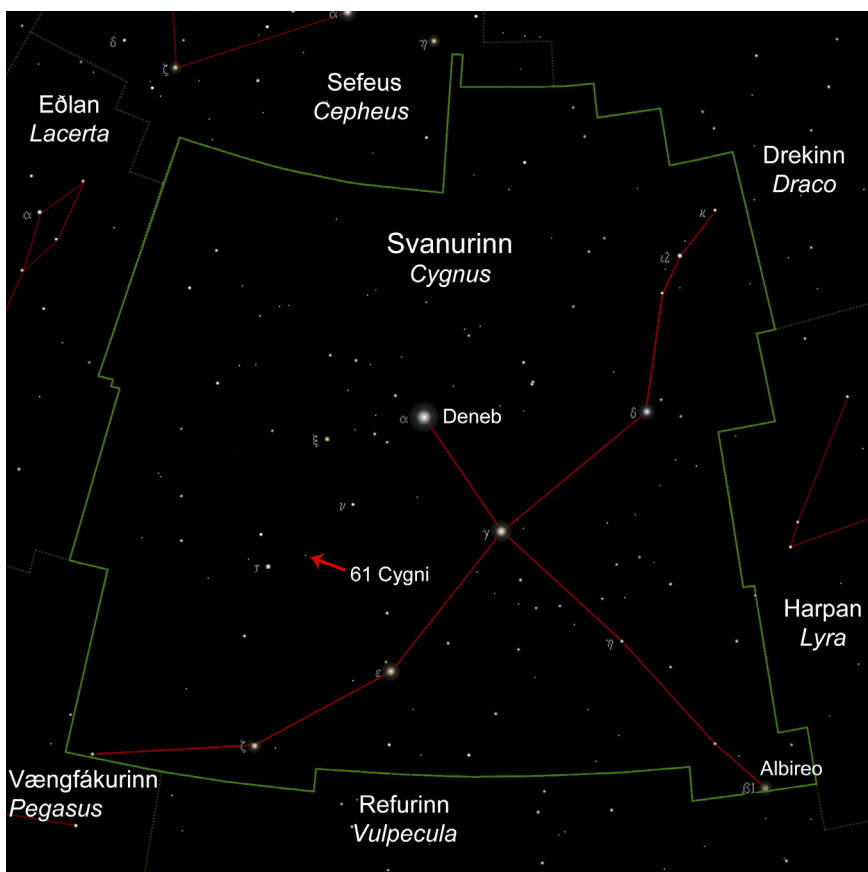


Snævarr Guðmundsson

61 CYGNI – FJARLÆGÐ FASTASTJÖRNU MÆLD FRÁ ÍSLANDI

Stjarnan 61 Cygni í Svansmerkinu er sýnileg berum augum undir myrkum himni en birtist sem tvær stjörnur í litlum sjónaukum. Þær deila sameiginlegri þyngdarmiðju og eru því tvístirni. Í upphafi 19. aldar var ályktað að 61 Cygni væri nærri sólu vegna hraðrar eiginhreyfingar og að fjarlægðin til hennar væri því mælanleg. Árið 1837 tókst þýska stjörnufræðingnum Bessel að mæla hana. Niðurstöður hans bentu til rúmlega 10 ljósára fjarlægðar en nýlegar gervitunglamælingar sýna að tvístirnið er 11,4 ljósár frá sólu. Í þessari grein eru kynntar stjarnhnitamælingar á 61 Cygni frá árunum 2012–2016. Niðurstöður þeirra voru bornar saman við viðurkennd gildi á umferðartíma tvístirnisins, eiginhreyfingu þess og sólmiðjuhliðrun, til þess að meta fjarlægðina. Niðurstöðurnar sýna að hægt er að nota meðalstóra stjörnusjónauka áhugamanna, myndflöguvélar og sérhæfðan tölvuhugbúnað til að meta brautir tvístirna og áætla fjarlægðir nálægustu fastastjarna.



INNGANGUR

Stjarnan 61 Cygni lætur lítið yfir sér þegar horft er á hana berum augum (1. mynd) en aðgreinist í sjónauka í tvístirni (61_A og 61_B) með vítt hornbil. Sýndarbirtustig 61_A er 5,2 og 61_B 6,05. Hún er rauntvístirni, myndað af tveimur rauðum dvergstjörnum á meginröð (K5V+K7V). Yfirborðshiti 61_A er ~4400°K og 61_B ~4000°K. Þær eru smærri, kaldari og daufari en sólin (yfirborðshiti 5600°K) og hafa um 15% og 16% af ljósafli sólar.¹ Báðar eru þær breytistjörnur, 61_A vegna sólbletta- og lithvolfsvirkni tengdri möndulsnúningi, en 61_B er blossastjarna.² Tvístirnið 61 Cygni var í 27 og 28. sæti í röð nálægustu stjarna árið 2016.³ Sjónlínuhraði er 108 km/s en það styður tilgátur um að parið eigi ekki uppruna í þunnkringlu vetrarbrautarinnar (e. *thin galactic disk*).¹ Snemma á 20. öld kom í ljós að 61 Cygni tilheyrir hópi stjarna sem ferðast í sömu stefnu í geimnum.⁴ Nokkrir hópar samferða stjarna eru þekktir og er talið að þeir eigi uppruna sinn í eldri þykkkringlu (e. *thick galactic disk*) vetrarbrautarinnar.⁵

1. mynd. Svanurinn er áberandi merki á haustmánuðum á norðurhveli. Rauða örin bendir á 61 Cygni. Til að sjá báðar stjörnur þarf a.m.k. 10 x 50 handkíki. – Cygnus is a prominent autumn constellation, seen from the northern hemisphere. The arrow points to 61 Cygni's position. To visually separate the star into a pair an ocular of at least 10x magnification is needed

Eiginhreyfing 61 Cygni

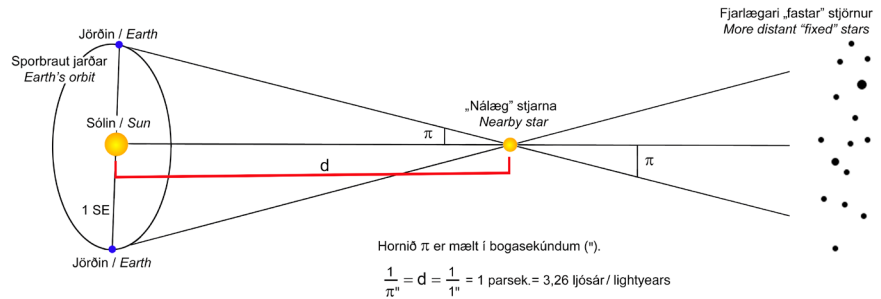
Í byrjun 19. aldar beindu menn sjónum að 61 Cygni vegna þess að sýndarstaða hennar breytist hratt miðað við aðrar stjörnur á hvelvingunni. Þessi færsla er nefnd eiginhreyfing og nemur 5,23 bogasekúndum á ári hjá 61 Cygni. Er hún hin sjöunda í röð stjarna með mestu eiginhreyfingu en bjartari en aðrar stjörnur sem hægt er að sjá með berum augum og hröðust þeirra. Eiginhreyfingin skýrist af mikilli ferð stjörnnunnar, hún stefnir þvert á sjónlínu okkar og er nálæg stjarna.¹

Sögulega séð markar fjarlægðarmæling 61 Cygni, og reyndar fleiri stjarna, fyrstu raunverulegu skrefin við mælingu á stærð alheimsins. Þýski stjarnfræðingurinn Friedrich Wilhelm Bessel (1793–1864) mældi árlega hliðrun stjörnnunnar, svo nefnda sólmiðjuhliðrun, árið 1837 og af henni var hægt að ákvarða fjarlægðina.⁶

Höfundur hefur myndað og skráð eiginhreyfinguna á tíu ára fresti frá 1992. Á þeim tíma var sýndarfærslan meiri en bilið milli stjarnanna. Gerð var grein fyrir þessum athugunum og sögu stjörnnunnar ásamt myndum á vef Almanaks Háskóla Íslands.^{7,8} Annars fer lítið fyrir umfjöllun um stjörnunna í íslenskum ritum. Björn Jensson⁹ gat um mælingar Bessels í bók sinni, *Stjarnufræði*, í lok 19. aldar. Þorsteinn Sæmundsson¹⁰ gat um mælingar hans í *Náttúrufræðingnum* 1966, Einar H. Guðmundsson¹¹ sömuleiðis í ritgerð 2003 og í bókinni *Alheimurinn*¹² í íslenskri þýðingu Karls Emils Guðnasonar er lítillega fjallað um stjörnunna og sólmiðjuhliðrun.

Sólmiðjuhliðrun og brautarstíkar tvístirnisins

Sólmiðjuhliðrun er til komin vegna brautargöngu jarðar um sólu, en við hana breytist sífellt sjónlína til stjarna (2. mynd). Hornið sem hliðrunin veldur er afar lítið, jafnvel á nálægustu fastastjörnum, og



2. mynd. Fjarlægð stjörnu (d) má finna með hornaföllum ef hliðrunarhornið er mælanlegt. Jörðin er sex mánuði að ferðast eftir jarðbrautinni sem nemur þvermáli hennar, tveim stjarnfræðieiningum (SE). Geisli jarðbrautar myndar þekkt skammhlið þríhyrnings. Hlutfall langhliðar fæst af hliðrunarhorninu (π) þar sem skammhliðin er þekkt og gefur fjarlægðina til stjörnnunnar í parsek (e. parallax second). Ef π er t.d. ein bogasekúnda ($''$), sem er $1/3600$ úr 1° , er langhliðin 206265 SE, jafngildi 3,26 ljósára fjarlægðar. Fyrirmynd: <http://astro.unl.edu/>. – A distance (d) to a star can be measured by trigonometry if its parallax is quantifiable. Earth covers half of its orbits in six months, equal to two astronomical units (AU). The radius of Earth's orbit forms the opposite side of triangle of an known length. The ratio of the hypotenuse can then be estimated from the angle (π) and the opposite side. At Earth's orbit a π of 1 arcsecond ($''$) the length of the hypotenuse would equal 206265 AU or 3.26 ly. Figure based on <http://astro.unl.edu/>

minnkar sífellt með aukinni fjarlægð og verður að lokum ómælanlegt.

Árleg hliðrun stjörnu teiknar feril á stjörnuhimni og ræðst lögun ferilsins af fjarlægð hennar frá okkur, stöðu á hvelvingunni miðað við sporbrautarflöt jarðar, brautargöngu og fjarlægð frá sól (3. mynd). Nálæg stjarna, eins og 61 Cygni, hefur samtímis mikla eiginhreyfingu. Þess vegna lokast hliðrunarferillinn ekki og verður eins og spírall.¹³ Af kennsludæmum má skilja að nóg sé að mæla með sex mánaða millibili en betra er að gera ráð fyrir eiginhreyfingu og mælingaróvissu. Á sínum tíma byggðust niðurstöður Bessels á meira en 85 athugunum yfir 14 mánaða skeið.⁶ Aðferðin er enn í fullu gildi en hefur verið aðlöguð nútímatækni.

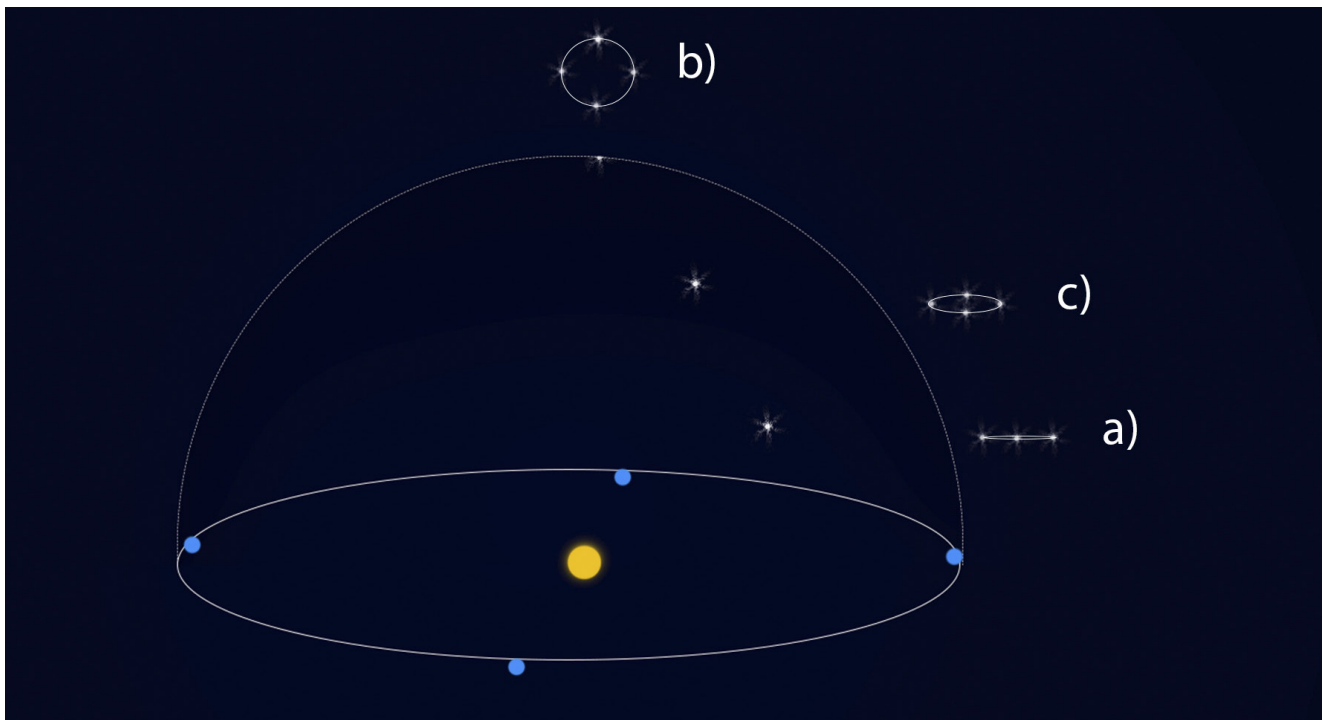
Árið 2012 kviknaði sú spurning í huga höfundar hvort hægt væri að mæla sólmiðjuhliðrun fastastjörnu frá Íslandi. Það mætti reyna á stjörnunni 61 Cygni og vegna þess að um tvístirni er að ræða fengjust samtímis upplýsingar um hornbil, þ.e. bilið milli stjarnanna, og stöðuhorn, sem vísar á innbyrðis afstöðu í tvístirninu. Mælingar á

hornbili og stöðuhorni kalla með tíð og tíma fram sporbrautir tvístirna. Út frá þeim er hægt að finna aðra eiginleika, til dæmis massa, sem er lykilatriði við að öðlast skilning á því hvernig stjörnur framleiða orku.¹³

Með stórum sjónaukum í stjörnustöð eða gervitungli er hægt að meta brautarstíka tvístirna, eiginhreyfingu þeirra og hliðrunarhorn með mikilli nákvæmni. Hipparcos-gervitunglið mældi hliðrunarhorn tvístirnisins 61 Cygni og sýndi að það er í 11,4 ljósára fjarlægð.¹ Markmiðið hér var hins vegar að afla gagna með dæmigerðum stjörnusjónauka áhugamanns og sjá hversu skýrar niðurstöður fengjust, með samanburði við viðurkennd gildi og reiknuð líkön.

AÐFERÐIR OG ÚRVINNSLA

Staða og hreyfing stjarnfyrirbæra er ákvörðuð með aðferðum stjarnhnitafraðinnar.¹⁴ Nú á dögum er staður fastastjarna á hvelvingunni ákvarðaður afar nákvæmlega í tvívíðu hnitakerfi eftir mælingar gervitungla og stjörnustöðva.



3. mynd. Hliðrunarferill fastastjörnu mótast af brautargöngu jarðar umhverfis sólu (skýringin gerir ekki ráð fyrir eiginhreyfingu), a) stjarna í sjónlínu frá sporbrautarfleti teiknar rák yfir árið sem stjarnan virðist hliðrast eftir fram og aftur, b) hornrétt yfir brautarfleti yrði ferillinn nær hring, sbr. sporbraut jarðar, c) á milli myndar hliðrunin sporvölulaga feril (fyrirmynd: Hirschfeld, 2000). – Demonstration of a star's parallax due to orbital movement of Earth (the explanation ignores proper motion), a) situated along the orbital plane would move forth and back and form stripe, b) perpendicular to orbital plane the form would be circular, c) in between it take a form of an ellipse (based on Hirschfeld, 2000).

Stjörnuskrár eru öllum aðgengilegar og nýtast í viðmiðsstjarnhnitafræði, t.d. ef ákvarða skal hreyfingu stjarna, smástirna eða halastjarna.¹⁵ Stjörnuathugandi tekur myndir af viðfangsefni, og á þeim birtast einnig stjörnur með þekkt stöðuhnit. Tölvuforrit gera kleift að setja hnitakerfi inn í myndirnar þegar þekktu stjörnurnar eru hnitsettar. Að því loknu er hægt að ákvarða stöðu viðfangsefnis með góðri nákvæmni.¹⁴

Stjörnuáhugamenn erlendis hafa sannreynt að sjónaukar svipaðrar stærðar og höfundur notar nægja fyllilega til svona mælinga. Hve nákvæmar þær eru er m.a. háð gæðum sjónaukans sem myndað er með og athugunarskilyrðum.^{14,16,17}

Hér á landi er veðurfar of óstöðugt til reglubundinna stjörnuathugana og ógerlegt annað en að nýta þær heiðríkjunætur sem bjóðast. Athugunarskilyrði ráðast af gagnsæi og stöðugleika loftins, hæð stjörnu yfir sjóndeildarhring og veðurskilyrðum.¹⁸ Heimaslóðir

höfundar eru á láglendi nærri sjó þar sem rakt loft veldur meiri óvissu en í meiri hæð og þurrara lofti. Óvenjulega góð skilyrði verða aðeins tvisvar eða þrisvar á ári. Bjartar sumarnætur skerða líka tímabil stjörnuathugana þriðjung ársins.

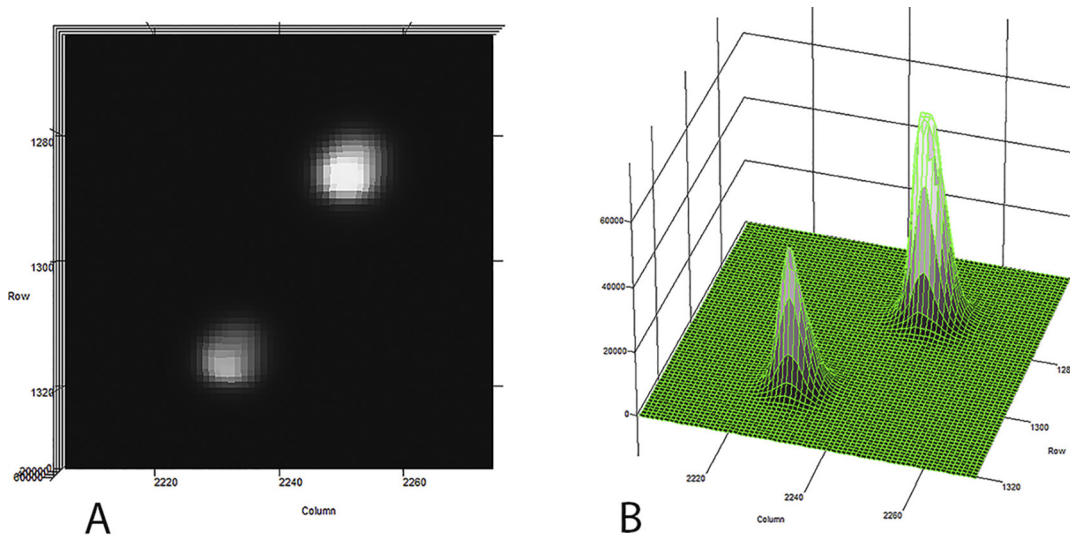
Gagnaöflun – myndataka

Myndir voru teknar með SBIG STL11kM CCD-myndflöguvél og Meade LX-200, 30 cm linsu-/spegilsjónauka. Notaður var Lumicon Giant Easy Guider-hjástefnubeinir með innbyggðri linsu sem fletur myndflötinn í þessari gerð sjónauka. Gagnaöflun var sinnt frá Hafnarfirði veturinn 2012–2013 en frá Hornafirði eftir það. Myndgögnum var einnig safnað veturna 2013–2014, 2014–2015 og 2015–2016 og því samantlagt yfir fjögur ár.

Yfirleitt voru teknar 10–16 myndir hverja nótt sem mælt var og notaðar til að áætla meðaltalsstöðu

viðfangsefnis. Veturinn 2015–2016 var myndum fjölgað og teknar 60 hverja nótt. Þær voru vistaðar sem FITS-skrár. Þá hefur hver díll tölugildi sem forrit nota til útreikninga (4. mynd). Auk þess voru teknar ólýstar myndir (e. *dark frame*) í hvert sinn. Þær sýna suð sem myndast af völdum lágs rafstraums sem flæðir um myndflöguna en það skynjar flagan eins og annað ljós. Rafstraumurinn er breytilegur milli díla en heildarútkoman er sú að myndir verða misbjartar. Til þess að minnka áhrif suðsins enn frekar er myndflagan kæld. Venjan var að halda henni u.þ.b. 30°C kaldari en umhverfishiða.

Suðið er dregið frá raunmyndunum með ólýstu myndunum. Útkoman verður sú að bakgrunnurinn er dimmari og flatari og stjörnurnar skarpari. Ekki voru teknar svonefndar jafnlýsimyndir (e. *flat field*) þar sem ekkert bendir til þess að þær hafi nokkur áhrif í stjarnhnitamælingum.¹⁴



4. mynd. Stjörnur eru misbjartir ljóspunktur á myndum (A) en á FITS-sniði inniheldur sérhver dál tölugildi ljósmagnsins sem féll á hann. Gögnin eru því í þrívídd (B). Forrit ákvarðar skurðpunkt fyrir stjörnu út frá vægi þeirra dila sem ljósið dreifðist á (Mirametrics, 2015). – Stars appear as dots of different brightness (A) but the FITS format allows every pixel to store the values of the flux it was exposed to. Therefore the data are stored as a 3-D matrix (B). Sophisticated software pinpoints the centroid by the value of numbers pixel on which the starlight hit.

Innsetning hnitakerfis

Forritið Mira Pro UE 8.0 var notað í úrvinnslu. Fyrst var búin til skrá með stöðuhnitum viðmiðsstjarna, og voru þær upplýsingar sóttar í gagnasafn SIMBADs.¹⁵ Þessar stjörnur umhverfis 61 Cygni-tvístirnið voru hnitsettar á myndunum til að setja inn hnitakerfið. Það er miðað við miðbaug himins sem 0° breidd, $+90^\circ$ á norðurskauti og -90° á suðurskauti (myndhnitakerfi, e. *World Coordination System*).

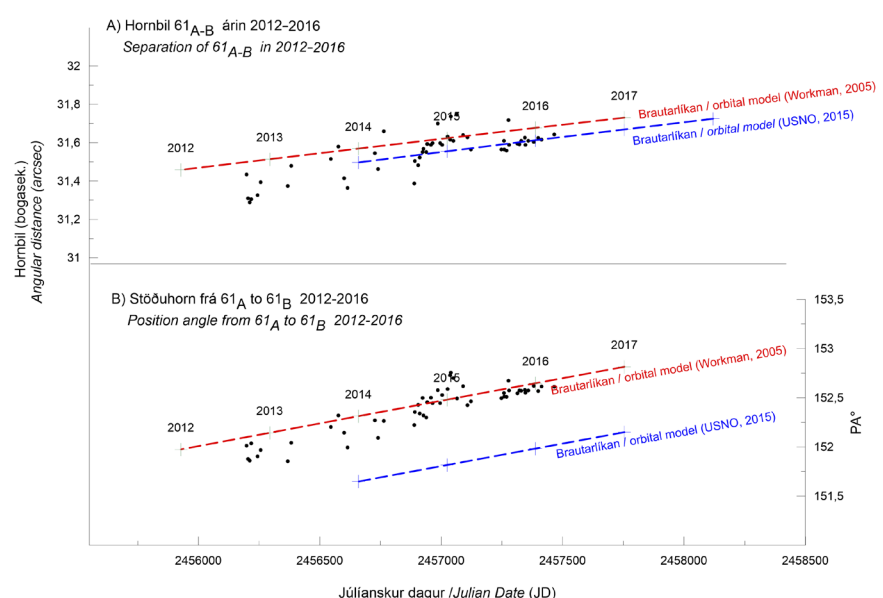
Breiddarbaugar himins eru stjörnubreidd, kvarðaðir í gráðum: mín.:sek. Lengdarbaugarnir, stjörnulengd, taka mið af tímaás og eru í klst.:mín.:sek.

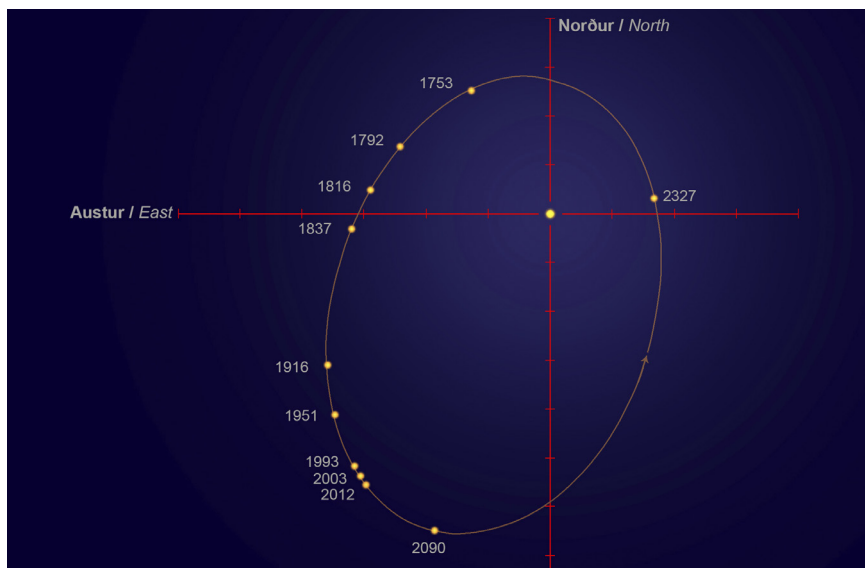
Myndstuðlaaðferð (e. *plate constants method*) er notuð til að reikna hnitakerfið út frá viðmiðsstjörnunum. Í aðferðinni er tekið tillit til þess að stjörnur í íhvolfu hnitakerfi varpast á myndflöt.^{14,19} Til að ákvarða mælifasta (x- og y-hnit hvernar stjörnu) þarf minnst þrjár viðmiðunarstjörnur, en fleiri voru notaðar til þess að auka nákvæmni og með því að vinna

á móti aflögun af völdum tíbrár, optískum göllum eða villum í hnitsetningu.^{16,14} Hnitakerfið var sett inn út frá 13 stjörnum. Þegar búið er að hnitsetja hverja mynd er myndstuðulfasti ákvarðaður með aðferð minnstu kvaðrata (e. *least squares method*) en Mira-forritið sér um útreikningana sem til þess þarf. Síðan var staðsetning beggja stjarnanna í 61 Cygni, sérhverja mælingarnótt, ákvörðuð sem meðaltal af myndafjölda ásamt staðalskekklju.

Vegna þess hvað margar viðmiðsstjörnur voru notaðar varð óvissa

5. mynd. Mæligildi tínabilsins 2012–2016 (svartir punktar) bornar saman við brautarlíkan á A) hornbili, B) stöðuhorni. Tími í júlíonsku dagatali er á x-ás, á vinstri lóðás er hornbil (í bogasek.) en á hægri lóðás gráðuhornið mælt frá 61_A í 61_B . Brota-línurnar eru brautarlíkön en þau sýna hornbilið aukast um $\sim 0,3''$ árin þrjú og stöðuhornið $0,2^\circ$. – Measured values from 2012–2016 (black dots) compared to a orbital model of A) distance and B) position angle (PA). Julian date is on the x-axis, separation of the binary on the left y-axis (in arcseconds) and PA in degrees to the right, measured from 61_A to 61_B . Broken lines are modelled after two recent investigations. They presents extended separation at about $0.3''$ in the three years and the PA 0.2° .





6. mynd. Sporbrautarganga 61_B um samþungamiðju kerfisins en 61_A höfð „föst“. Rauðar línur vísa á höfuðáttir, kvarðabilið er 5". Enski stjörnufræðingurinn Bradley (1693–1762) skráði það fyrstur sem tvístirni, árið 1753. Þá var 61_B norðaustan við 61_A og hornbilið 14". Bilið verður víðast í kringum 2090 (~34") en minnst nálægt 2330, ~8,5". – The drawing reflects the orbit of 61_B around the barycenter with 61_A in center. Cardinal directions are denoted and each tick marks an interval of 5 arcseconds. In 1753 the English astronomer James Bradley (1693–1762) noticed it first as double star, when 61_B was northeast of 61_A at distance of 14". Its widest separation of ~34" is predicted close to 2090 but decreases to ~8.5" around 2330.

á reiknaðri staðsetningu 61 Cygni-tvístirnisins minni en 0,01 bogasekúnda í hverri mynd. Á einstaka myndum varð óvissa meiri, t.d. þegar stjörnur voru ekki skarpar vegna tíðrár. Þær voru ekki notaðar við meðaltalsákvörðun á stöðuhnitum stjarnanna tveggja.

Að því loknu má ákvarða hnit viðfangsefnis í myndunum og meta hornbil (mælt í bogamínútum [táknad '] eða bogasekúndum [táknad "]) og jafnframt stöðuhorn frá 61_A til 61_B . Stöðuhorn er ákvarðað í gráðum, frá bjartari stjörnu til daufari, frá norðri (0°) í gegnum austur (90°).

Eiginhreyfing og sólmiðjuhliðrun fæst einnig af hnitum 61_A og 61_B með tímanum. Áður en þau voru skráð var hnitunum til einföldunar umbreytt úr stjörnulengd og -breidd í gráður og gráðubrot. Síðan var tekið meðaltal sérhverja mælingarnótt og staðalskekkja meðaltals ákvörðuð af heildinni.

Auk þeirra voru hnit stjörnnar GSC 3168:678 ákvörðuð til að meta áreiðanleika mælinga.

Mælitími miðast við heimstíma (UT) en var umbreytt í júlíansk dagatal (e. *Julian Day*, JD). Það hentar betur til þess að forðast rugling við hlaupár og almanakstílfærslur. Í júlíanska dagatalinu miðast dagskipti við hádegi en ekki miðnætti þannig að mælingar frá

kvöldi tiltekens dags og fram yfir miðnætti falla á sama daginn.

Viðmiðstími hnitakerfisins var kl. 12:00:00, 1. janúar 2000 (nefndur J2000.0) og því þarf að framreikna eiginhreyfingu viðfangsefnis til þess tíma þegar athuganir voru gerðar. Umrita má viðmiðstíma í júlíanska dagatalið. Lengd eiginhreyfingar á ári fæst eftir reglu Pýþagórasar en taka þarf tillit til stjörnubreiddarinnar þegar eiginhreyfing stjörnulengdar er reiknuð.²⁰ Til að ákvarða sólmiðjuhliðrun þarf að horfa til stöðu stjörnnar í sólmiðjuhnitakerfi, eiginhreyfingar, hliðrunar í stjörnulengd og -breidd, geisla jarðbrautar og tíma í þessum jöfnum. Þeir útreikningar voru gerðir með forritinu TrigParallax.¹⁴

NIÐURSTÖÐUR

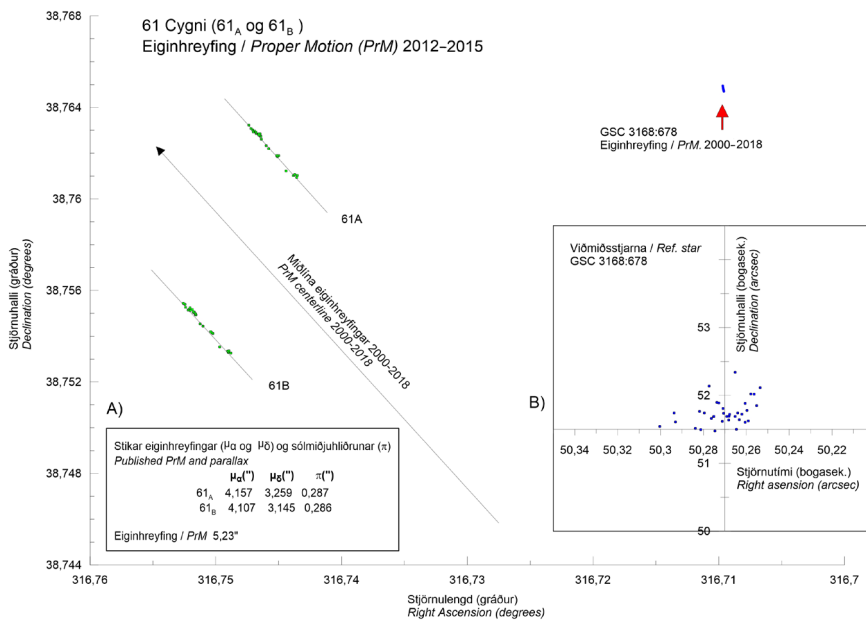
Hornbilið á milli 61_A til 61_B og stöðuhorn mælt frá A stjörnunni í B var borið saman við reiknað brautarlíkan árin 2009–2018, byggt á brautarstikum nýlegra rannsókna (5. mynd). Samkvæmt annarri þeirra (grænar brotalínur) er umferðartíminn 659 ár. Líkanið grundvallast á brautarstikum Kiselevs o.fl. frá 1997²¹ sem er notað í reikniskjalinu „Binary Star Orbit Calculator“ eftir Workman.²² Bláar brotalínur byggjast á niðurstöðum Gorshanovs o.fl. frá árinu 2006,²³ sem segja umferðartímann 678 ár. Sömuleiðis var búin til mynd, með reikniskjali Workmans, af sporbraut tvístirnisins og afstöðubreytingu í tíma samkvæmt líkani (6. mynd). Á henni vísa ártöl í afstöðu tvístirnisins á sögulegum tíma og í framtíðinni.

1. tafla. Stöðuhnit 61 Cygni og GSC 3168:678. Eiginhreyfing (μ_α og μ_δ) er í stjörnulengd og stjörnubreidd og lengd hennar og sólmiðjuhliðrunar (π) í bogasek (") á ári. – Coordinates and annual proper motion (μ_α , μ_δ) and parallax (π) of 61 Cygni and GSC 3168:678.

	61_A (HD 201091) ^{*1}	61_B (HD 201092) ^{*1}	GSC 3168:678 ^{*2}
α (J2000)	21 06' 53,95249"	21 06' 55,26395"	21 06' 50,27"
δ (J2000)	38° 44' 57,9854"	38° 44' 31,4032"	38° 45' 51,59"
μ_α	4,168"	4,107"	0,035"
μ_δ	3,269"	3,145"	0,117"
π	0,287"	0,286"	—

^{*1} Gildi fyrir HD 201091 og HD 201092 sótt á CDS.¹⁵

^{*2} USNO_B1.0 (Aladin Sky atlas, CDS, 2014).¹⁵



7. mynd. A) Samanburður mældra gilda (grænir punktar) og reiknaðrar eiginhreyfingar. Innskotsmynd B) sýnir mælistök við viðurkennd hnit viðmiðsstjörnu á mælitíma (ath. hnitakerfi í bogasekúndum) til að meta gæði mælinga. – A) Observations (green dots) compared to calculated proper motion of 61 Cygni. The inserted graph B) represents measurement of reference star to its coordinates to estimate quality of observations.

Mæld hnit stjarnanna tveggja á tímabilinu voru borin saman við viðurkennd gildi eiginhreyfingar og hliðrunar, sem sýnd eru í 1. töflu, eftir að þau voru framreiknuð frá upphafstíma hnitakerfisins. Niðurstöðurnar eru sýndar á 7. mynd. Skálínur lýsa ferð og stefnu 61 Cygni og GSC 3168:678 vegna eiginhreyfingar samkvæmt gögnum í SIMBAD.¹⁵ Miðlínar er framreiknuð leið kerfisins 2000–2018 en á þeim tíma hliðruðust stjörnurnar $\sim 15,7''$. Styttir línur eru reiknuð leið 61_A og 61_B frá 2011 en grænir punktar niðurstöður mælinganna frá 2012–2015. Stjarnan GSC 3168:678 (efst t.h.) birtist sem stutt rák vegna lítillar eiginhreyfingar á sama tímabili, 2000–2018. Í mynd B eru mælistök borin saman við viðurkennd hnit viðmiðsstjörnu á mælitíma. Skekkja í lengd (stjörnutími) er $\sim 0,05''$ en $0,3''$ í breidd (stjörnubreidd). Það skýrist af því að stjarnan hliðrast meira í breidd en lengd.

Á 8. mynd eru síðan sýndar niðurstöður útreikninga á fjarlægð með forritinu TrigParallax.¹⁴ Það notar genetískt algrím (GA) til þess

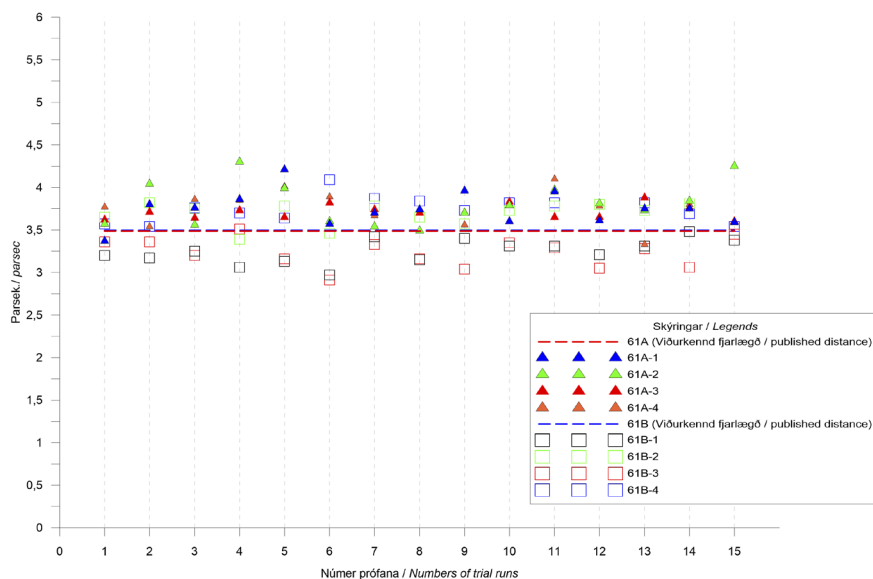
að finna bestu lausn í gegnum punktastafn, þ.e. á hliðrunarhorninu (π) í parsekum sem fjarlægðin er síðan ákvörðuð út frá. Það var látið reikna 15 lausnir út frá fjórum forsendum, og eru lausnirnar því samtals 60 fyrir hvora stjörnu: i) Allt punktastafnið með gildi eiginhreyfingar (μ) og π fyrir tvístirnið 61 Cygni í gagnasafni SIMBAD; ii) Allt punktastafnið með gildi μ og π fyrir hvora stjörnu, 61_A og 61_B (skráðar HD 201091 og HD 2010992 í gagnasafni SIMBAD) en 6–8 millibogasekúndum munar á þeim gildum og þeim sem eru skráð fyrir tvístirnið. Tilgangurinn var að fá fram hvort sá munur hreyfði eitthvað við mælingarniðurstöðum; iii) Sama og i) en útlagar fjarlægðir úr gagnasafni; iv) Sama og i) en útlagar fjarlægðir úr gagnasafni. – Svokallaðir útlagar eru mæligildi sem lágu meira en $0,1''$ frá spálíkani. Notaðir voru 400 bitar (e. *population*) og 80 kynslóðir (e. *generation*) í hvert sinn. Meðaltal hliðrunarhorns og fjarlægðar beggja stjarna er sýnt í 2. töflu.

UMRÆÐUR

Meginmarkmið með þessu verkefni var að fá úr því skorið hvort aðstæður hér á landi leyfa að meta árlega hliðrun nálægrar fastastjörnu, og þá hve skýrar niðurstöður væru. Samhliða var ætlunin að sjá hversu vel tækist að nema brautarhreyfingu tvístirnisins en fyrirfram var vitað að hún er afar hæg. Niðurstöðurnar sýna að sjónauki stjörnuáhugamanna nægir til að nema þessar færslur stjörnunnar 61 Cygni með allgóðri nákvæmni á nokkrum árum.

Hægt er að úrskurða að breyting á hornbili er samkvæmt líkani Gorshanovs o.fl.,²³ þó að niðurstöður fyrstu árin virðast ekki skera úr um það (5. mynd). Veturinn 2015–2016 voru teknar mun fleiri myndir í hvert sinn og jók það nákvæmnina í niðurstöðum á staðsetningu stjarnanna. Stöðu-hornið virðist þó enn falla með brautarstikum Kiselevs o.fl.²¹ Fræðimenn við stjörnuhöfð Bandaríkjaflota (USNO)²⁴ styðjast við mælingar Gorshanovs í stjörnu-almanakinu „Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars“ vegna lengri rannsóknartíma (William I. Hartkopf, tölvuskeyti til höfundar 28. ágúst 2015). Litlu munar á niðurstöðum þeirra, einungis 18 árum eða 3%. Mismunur á hornbili milli þessara rannsókna er $0,07''$, sem er afar erfitt að ákvarða með litlum sjónauka þrátt fyrir hugvitsamlegar greiningaraðferðir við að ákvarða hnit stjarna.

Mæld stjarnhnit beggja stjarna lenda á reiknaðri stefnu eiginhreyfingar, byggðri á viðurkenndum gildum SIMBADs. Mjög skýr munur kemur fram á hraðri eiginhreyfingu stjörnunnar 61 Cygni samanborið við viðmiðsstjörnuna GSC 3168:678 (7. mynd, efst t.h.) á þessu tímabili. Frá 2012–2015 nam hliðrunin $15,7''$ bogasekúndum en yfir sama tímabil hreyfðist viðmiðsstjarnan um $0,3''$. Samanburður viðmiðsstjörnunnar við framreiknaða lengd miðlínú frá 2000–2018 sýnir þetta enn betur.



8. mynd. Niðurstöður þar sem leitað var bestu lausnar með genetísku algrími (GA). Langás er fjöldi reiknilausna en lóðás fjarlægð í parsek (hvert parsek jafngildir 3,26 ljósárum). Brotalínur sýna viðurkennda fjarlægð 61_A (græn: 3,487 parsek) og 61_B (rauð: 3,498 parsek). Þríhyrningar sýna niðurstöður á 61_A en ferningar 61_B. – Results by the use of genetic algorithm (GA) in estimating the distance of the binary. Broken lines indicates the published value for 61_A (green: 3.488 parsec) and 61_B (red: 3.504 parsec). The graph presents results for 61_A (triangles) and 61_B (boxes). The number of solutions are presented on x-axis and distance in parsec (one equals 3,26 light years) on y-axis.

Árleg hliðrun stjarna er afar lítil og til að mæla hana þarf góðan sjónauka og viðunandi athugunarskilyrði. Hliðrunarhorn 61 Cygni-tvístirnisins samsvarar stærð krónupenings í 14 km fjarlægð. Meðaltalsfjarlægð út frá sólmiðjuhliðrun (π), sem var fengin með útreikningum TrigParallax, er <10% frá viðurkenndu gildi á 61_A og <1% fyrir 61_B. Fræðileg sundurgreining, svonefnd Dawes-mörk, á sjónauka af þeirri stærð sem notaður var eru 0,39". Það er meira en hliðrunarhorn stjörnnar 61 Cygni. Þegar breytur fara svo nærri fræðilegum mörkum vega aðrir þættir þungt. Við nákvæmni mælinga reynir ekki síður á gæði sjónauka en áhrif lofthjúpsins.

Niðurstöðurnar telur höfundur mjög viðunandi. Á Íslandi vinnur veðurfar ekki með athugunum af þessu tagi og sökum síbreytileika

í veðrinu er óvissa mælinganna breytileg. Til þess að fá skýrar niðurstöður má því reikna með að þurfa að safna gögnum yfir langan tíma. Stærri sjónauki myndi vafalítið auka nákvæmni slíkra mælinga. Eitt sem hefur lærst er að taka þarf margar myndir hverja mælingarnótt. Höfundur taldi að með sjónauka af þessari stærð fengist nægileg nákvæmni út frá meðaltali 10–15 mynda, sbr. Richards.¹⁷ Gögnin benda til að mun fleiri myndir þurfi. Stjarnhnitamælingar krefjast því mikillar gagnaöflunar við góð skilyrði og skiptir miklu að afla þeirra þegar viðfangsefnið er sem hæst á lofti.

Það er hins vegar jákvætt að stjarnhnitamælingar eru mögulegar á Íslandi, þegar eljusemi til slíks verkefnis er fyrir hendi. Þegar unnið var úr gögnunum varð freistandi að halda áfram til þess að nýta áunna

reynslu og auka við þekkingu á stjarnhnitamælingum. Höfundur hyggst halda mælingunum áfram og komast að því hvort frekari mælingar og lengri mælingartími skerpi enn frekar niðurstöður um fjarlægð og brautarhreyfingar.

ABSTRACT

61 Cygni – Distance estimation done with a moderate sized telescope

The star 61 Cygni, in the constellation Cygnus, can be observed with averted vision on a dark night sky. A telescope reveals a double, a binary star sharing a common centre of gravity. In the early 19th century the pair was assumed a nearby neighbour due to its high proper motion. In 1837 the German astronomer, Friedrich Bessel, succeeded in measuring its distance, at about 10 light years (ly), later revised to 11.4 ly by satellite data. This paper presents astrometric measurements of 61 Cygni, collected in 2012–2016 with a moderate amateur astronomer telescope, intended to estimate its capability. Results of separation, position angle, proper motion and parallax were compared to modern accepted values. The measurements reflect that by the use of a moderate telescope, a CCD camera and sophisticated software, the parallax of the nearest stars, and hence its distances, can be estimated.

2. tafla. Niðurstöður mældra gilda fyrir hliðrunarhorn og fjarlægð, í parsekum og umbreytt í ljósár. – Resulting mean value for parallax and distances, in parsec and converted to lightyear.

	61 _A		61 _B	
	Meðaltal / mean	STDev	Meðaltal / mean	STDev
Hliðrunarhorn / parallax	0,267	0,013	0,289	0,013
Parsek / parsec	3,756	0,183	3,476	0,152
Ljósár / lightyears *	12,250	0,596	11,338	0,497

* Viðurkennd fjarlægð 61_A er 11,37 ljósár og 61_B 11,40 ljósár.¹⁵

HEIMILDIR

1. Kervella, P., Mérand, A., Pichon, B., Thévenin, T., Heiter, U., Bigot, L., Brummelaar, T.A.T., McAlister, H.A., Ridgway, S.T., Turner, N., Sturmann, J., Sturmann, L., Goldfinger, P.J. & Farrington, C. 2008. The radii of the nearby K5V and K7V stars 61 Cyg A & B – CHARA/FLUOR interferometry and CESAM2k modeling. *Astronomy and Astrophysics* 488. 667–674.
 2. Hempelmann, A., Robrade, J., Schmitt, J.H.M.M., Favata, F., Baliunas, S.L. & Hall, J.C. 2006. Coronal activity cycles in 61 Cygni. *Astronomy and Astrophysics* 460. 261–267.
 3. Johnston, W.R. 2015. List of Nearby Stars: To 21 light years. <http://www.johnstonsarchive.net/astro/nearstar.html> (skoðað 20. október 2016).
 4. Boss, B. 1911. Community of motion among several stars of large proper-motion. *Astronomical Journal* 629. 33–37.
 5. Eggen, O.J. 1969. Stellar Groups in the Old Disk Population. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 482. 553–593.
 6. Bessel, F.W. 1839. Bestimmung der Entfernung des 61sten Sterns des Schwans. *Astronomische Nachrichten* 16 (5–6). 65–96.
 7. Þorsteinn Sæmundsson 2003. Eiginhreyfing fastastjörnu ljósmynduð frá Íslandi. <http://almanak.hi.is/61cygni.html> (skoðað 20. október 2016).
 8. Þorsteinn Sæmundsson 2012. Áhugaverðar myndir af stjörnunni 61 Cygni. <http://almanak.hi.is/61cygni2.html> (skoðað 20. október 2016).
 9. Björn Jenson 1889. Stjörnufræði. Prentsmiðja Sigfúsar Eymundssonar, Reykjavík. 64 bls.
 10. Þorsteinn Sæmundsson 1966. Drög að heimsmynd nútímans. *Náttúrufræðingurinn* 36 (1–2). 48–84.
 11. Einar H. Guðmundsson 2003. Björn Gunnlaugsson og náttúruspekin í Njólu. *Ritmennt* 8. 9–78.
 12. Rees, M. (ritstj.). 2010. *Alheimurinn*. Þýð. Karl Emil Guðnason. Reykjavík, JPV útgáfa. 512 bls.
 13. Hirshfeld, A.W. 2000. Parallax – The race to Measure the Cosmos. W.H. Freeman and Company, New York. 314 bls.
 14. Berry, R. 2011. The Proper Motion and Parallax of Barnard’s Star: Errors and Precision in Small-Telescope Astrometry. Í: Warner, B. D., Foote, J. & Buchheim, R. (ritstj.) *The Society for Astronomical Sciences 30th Annual Symposium on Telescope Science*. Held May 24–26, 2011 at Big Bear Lake, CA. Society for Astronomical Sciences. 79–86.
 15. CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg). 2014. Simbad Astronomical Database. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/> (skoðað 20. október 2016).
 16. Vollmann, W. 2008. Measurements of 61 Cygni (STF2758AB, WDS 21069+3845). *Journal of Double Star Observations* 4 (2), Spring 2008. 74–77.
 17. Richards, D. 2015. David’s Astronomy Pages (Projects) – Nearby Stars. <http://www.astro-richweb.net/astro> (skoðað 20. október 2016).
 18. Gary, B.L. 2010. *Exoplanet Observing for Amateurs*. 2. útg. Reductionist Publication, Hereford. 250 bls.
 19. Mirametrics 2015. *Mira Pro Ultimate Edition Software*. <http://mirametrics.com/> (skoðað 20. júní 2015).
 20. Nash, D. 2006. *Motions in 3-D: Short Term Calculations*. The Armchair Astrometrists. <http://www.astronexus.com/> (skoðað 20. október 2016).
 21. Kiselev, A.A., Kiyaeva, O.V. & Romanenko, L.G. 1997. Visual Double Stars Orbits Obtained by Apparent Motion Parameters Method at Pulkovo. Bls. 377–382 í: Docobo, J.A., Elipse, A. & McAlister, H. (ritstj.) *Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks*. (The Astrophysics and Space Science Library, vol 223.) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
 22. Workman B. 2005. Binary Star Orbit Calculator, v3 (Excel Spreadsheet). www.gaherty.ca/binaries_6th_Excel97.xls (skoðað 20. október 2016).
 23. Gorshonov, D.L., Shakht, N.A. & Kiselev, A.A. 2006. Observations of the binary star 61 Cyg on the 26 inch refractor at the Pulkovo observatory. *Astrophysics* 49 (3). 386–96.
- USNO 2015. Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars: Ephemerides. The United States Naval Observatory. <http://ad.usno.navy.mil/wds/orb6/orb6ephem.html> (skoðað 20. október 2016).

UM HÖFUNDINN



Snævarr Guðmundsson (f. 1963) lauk BS-prófi í landfræði árið 2011 og MS-prófi í jarðfræði frá Jarðvísindadeild Háskóla Íslands árið 2014. Hann starfar hjá Náttúrustofu Suðausturlands á Höfn í Hornafirði sem sérfræðingur við ýmis rannsóknarverkefni, þar á meðal við öflun gagna um breytistjörnur. Hann hefur verið stjörnuáhugamaður í tæp 30 ár.

PÓST- OG NETFANG HÖFUNDAR/AUTHOR’S ADDRESS

Snævarr Guðmundsson
Náttúrustofu Suðausturlands
Nýheimum
Litlubrú 2
780 Höfn í Hornafirði
snævarr@nattsa.is