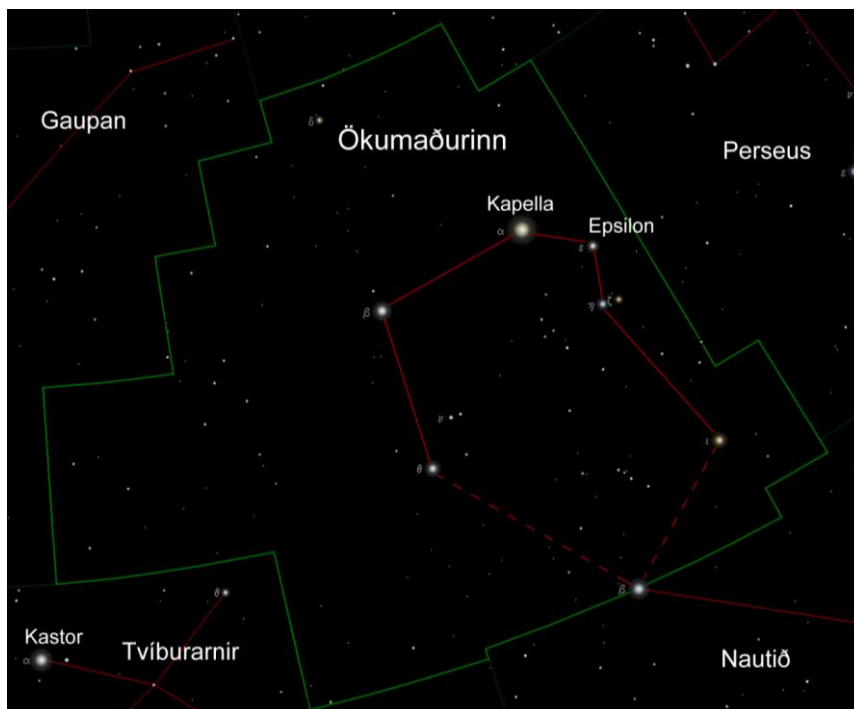


Epsilon Aurigae 2009—2011

Stjörnuhnit 05 01 58,1 +43 49 23,9 **Bst (V)** 2,92—3,83¹ **Umferðartími:** 9892 d (27,08 ár)

Stjarnan ϵ Aurigae (epsilon í Ökumanni, mynd 1) er ein óvenjulegasta myrkvastjarna sem þekkist. Engin á jafn langa birtulotu, og myrkvarnir standa yfir rúm tvö ár! Þýskur stjörnuáhugamaður að nafni Johann Fritsch tók fyrstur eftir henni myrkvaði, árið 1821. Eftir það hefur hún myrkvast sjö sinnum og gerði það síðast árin 2009—2011. Það væri langt mál að rekja feril rannsókna á þessari merkilegu stjörnu en hún hefur valdið miklum heilabrotum í tæp 200 ár. Í mælingum hafa aldrei birst vísbendingar um aðra stjörnu. Frávik í sjónlínuhraða (Dopplershrif) benda samt til að fylgistjarnan, sem hulin er, eigi umtalsverðan hluta heildarmassans. Nú hefur verið staðfest að afar stór rykskífa gengur fyrir stjörnuna á 27 ára fresti og er fylgistjarnan í miðju hennar (Kloppenborg, Hopkins & Stencel, 2012; Kloppenborg o. fl, 2015).



Mynd 1. Stjörnumerkið Ökumaðurinn er áberandi yfir vetrarmánuðina á norðurhveli. Þríhyrnda samstirnið suðvestan Kapellu, sjöttu björtustu stjörnu himins, er auknefnt Kiðlingarnir, en Epsilon er nyrsta stjarnan í því. Syðri stjörnunar í samstirninu eru Eta og Zeta. Bst þeirra er 3,2 og 3,7 en bst Epsilon nálægt 3,0.

Höfundur tók þátt í alþjóðlegu ljósmælingaverkefni á myrkvanum 2009—2011. Verkefninu var stýrt af hópi stjörnufræðinga í Bandaríkjunum. Sami hópur hafði staðið að svipuðu verkefni þegar stjarnan myrkvaðist 1982—1984 (Hopkins, 1987). Í þessu tilfelli sameinuðu stjörnufræðingar krafta sína með fjölda áhugamanna víðs vegar frá, við að afla gagna með ljós- og litrófsmælingum. Myrkvur ϵ Aurigae eru svo fágætir að þörf er á sem mestum gögnum yfir atburðarásina. Helstu spátímasetningar í gegnum myrkvann 2009—2011 eru í töflu 1.

¹ Byggt á VSX (2017). Meðaltalsbst ϵ Aur er 3,035 en stjarnan er einnig breytistjarna.

Tafla 1. Spátímar fyrir myrkva ϵ Aurigae (Stencel, 2012). Fyrsta snerting er þegar stjarnan tekur að deyfast og önnur snerting þegar birta hennar nær lágmarki. Það stig ríkir í um það bil eitt ár. Þá tekur birta stjörnunnar að aukast (þriðja snerting) og hún nær fyrri birtustyrk um tveim árum eftir að hún tók að dofna (fjórða snerting).

Atburður	Dagsetning	Skýring
Fyrsta snerting	16. ágúst 2009	Myrkvinn hefst þegar birta ϵ Aurigae dofnar (meðalt.bst 3,03)
Önnur snerting	10. febrúar 2010	Myrkvinn hefur náð fullri dýpt (bst 3,7)
Mið-myrvki	22. júlí 2010	Miðtími myrkvans
Þriðja snerting	27. febrúar 2011	Myrkvi stjörnunnar á undanhaldi og birta tekur að aukast
Fjórða snerting	26. ágúst 2011	Myrkva lýkur

1.1 Gagnaöflun og úrvinnsla

Höfundur hóf þátttöku í athugunum á ϵ Auriga í apríl 2009. Þegar þeim lauk, í janúar 2012, hafði tekist að mæla birtu ϵ Aurigae 106 sinnum héðan frá Íslandi. Mælingarnar byrjuðu nærri fimm mánuðum áður en myrkvinn hófst en þá var að verða sumarbjart á norðurslóðum. Í þessu tilfelli var notaður Optec SSP-3 ljósmælir á 30 cm LX 200 sjónauka. V og B ljóssíur voru notaðar í öllum tilvikum. Til samanburðar var stjarnan Lambda (λ) Aurigae (einnig auðkennd SAO 40233) samkvæmt ósk stjörnenda verkefnisins. Birtustig hennar er 4,7 og er um stöðuga meginraðarstjörnu að ræða. Samanburðarstjarna þarf að vera í sambærilegum litflokki og viðurkennd sem slík.

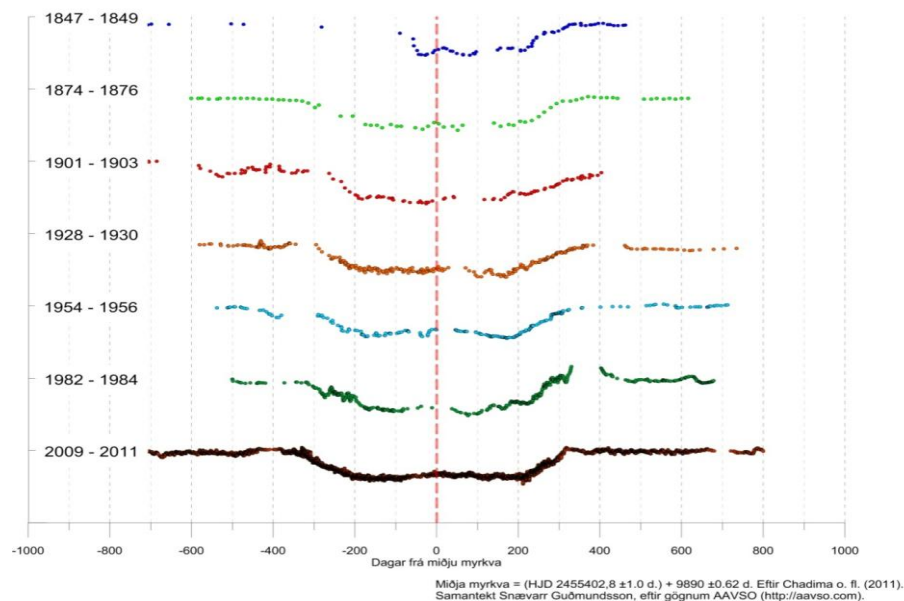
Yfirleitt tók 40–60 mínútur að ljúka mæliлотunni, staðsetja stjörnunar, mæla og vista gögnin. Þegar mikil tíbra var, var ϵ Aurigae mæld 4–6 sinnum í stað þess að mæla þrisvar sinnum því að þá mátti búast við miklu staðalfráviki í mæligildunum. Í þeim tilvikum tók mælingin talsvert lengri tíma. Tímabilið 2009—2010, eftir að stjarnan tók að dofna, tókst að mæla 57 kvöld en tíðarfar reyndist óvenju hagstætt þann veturinn. Birta ϵ Aurigae hélst $\sim 0,7$ bst daufari fram að sumri en svo óheppilega vildi til að miðja myrkvans var einmitt þá. Á þeim tíma er Ökumaðurinn ekki fjarri sólu og ógerlegt að mæla frá Íslandi. Einungis örfáum athugendum tókst að mæla stjörnunna það sumarið. Veturinn 2010–2011 náðust 35 mælingar. Áfram var fylgst með ϵ Aurigae nokkrum sinnum tímabilið 2011—2012 til þess að ljúka þessu verkefni, einum óvenjulegasta myrkva sem hægt er að verða vitni að.

Tími mælinga var umbreyttur í júlíanska daga áður en þær voru sendar til USA. Til þess var notað forrit sem Þorsteinn Sæmundsson, stjörnufræðingur skrifaði fyrir höfund.

1.2 Niðurstöður og umfjöllun

Niðurstöður mælinga eru í viðauka B en samanlagður afrakstur er dreginn saman á mynd 16. Þar blasir einnig við hvað alþjóðlegt samstarf er afkastamikið og jákvætt. Athugendur notuðu flestir stjörnusjónauka og sérhæfða ljósmæla, CCD vélar eða stafrænar myndavélar. Framlög stjörnuáhugamanna sem tóku þátt í verkefninu voru mjög breytileg og spönnuðu 18 til 169 mælistök yfir árin þrjú. Misjafnt var hve vel gekk, þó að flestum tækist sæmilega til. Mæligögn voru send til stjörnuáhugamannsins Jeff Hopkins (1940—2015), búsetts í Arizona, sem var í samstarfi við Robert E. Stencel stjörnufræðing við Denver-háskóla í sama fylki. Þeir höfðu meðal annars verið hvatamenn að sambærilegu alþjóðlegu samvinnuverkefni á myrkvanum 1982—1984 (Hopkins & Stencel, 1982).

Höfundur ákvað engu að síður að rýna í gögn verkefnisins og önnur sem eru aðgengileg í gagnasafni AAVSO. Mynd 2 sýnir atburðarás myrkva ϵ Aurigae eftir að mælingar hófust á 19. öld. Gagnamagn er breytilegt og mest yfir myrkvann 2009—2011. Það vekur athygli að myrkvarnir eru ekki nákvæmlega einsleitir og breytilegt hve mörgum dögum fyrir miðmyrkva stjarnan byrjar að dofna og hvenær fyrri birtustyrk er náð. Þetta bendir til þess að skýið sem deyfir skin stjörnnunnar sé dýnamískt. Stjörnufræðingar hafa bent á, að þegar dregur nærri miðju myrkvans aukist birtan tímabundið vegna þess að minna ryk í miðsvæði skífunnar hylji sýn til stjörnnunnar. Skýið myndi eins konar kringlu. Mælingar sýna birtuaukningu um 0,1—0,2 bst en það var ekki einfalt að sjá þetta í síðasta myrkva því að miðjuna bar upp á mitt sumar þegar ϵ Aurigae er í nánd við sólu og dagsbirta allsráðandi. Að frátöldum gervitunglum voru einungis örfáir athugendur nógu vel staðsettir til þess að geta mælt stjörnnuna þá.



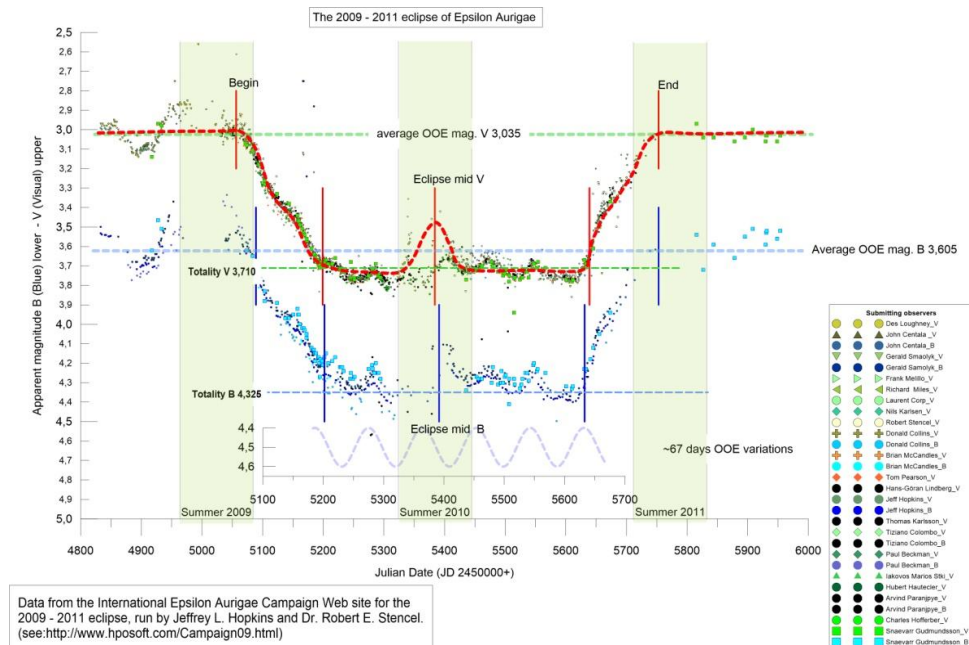
Mynd 2. Birtustöðurit ϵ Aurigae myrkva á 19.—20. öld. Brotna lóðlínan markar miðju myrkvanna. Mælingar hófust upp úr 1842. Myndina vann höfundur eftir gögnum AAVSO (2017) en safnið nær yfir sjö myrkva.

Á mynd 3 eru tveir birtuferlar. Efri ferillinn (grænn) lýsir atburðarásinni með V-ljóssíu (grænn) en neðri B-ljóssíu (blár). Stjarnan er óstöðug og birtusveiflur utan myrkva eru $\sim 0,1$ — $0,2$. Meðan birtan fellur eða vex koma fram sveiflur sem verða skýrastar meðan birta stjörnnunnar er í lágmarki. Á báðum litsviðum (v og b) voru þær $\sim 0,1$ bst, með um 60—70 daga sveiflu. Sambærilegar sveiflur sjást í fyrri myrkvum (mynd 2) þótt þær séu ekki eins áberandi vegna lítillar myndupplausnar.

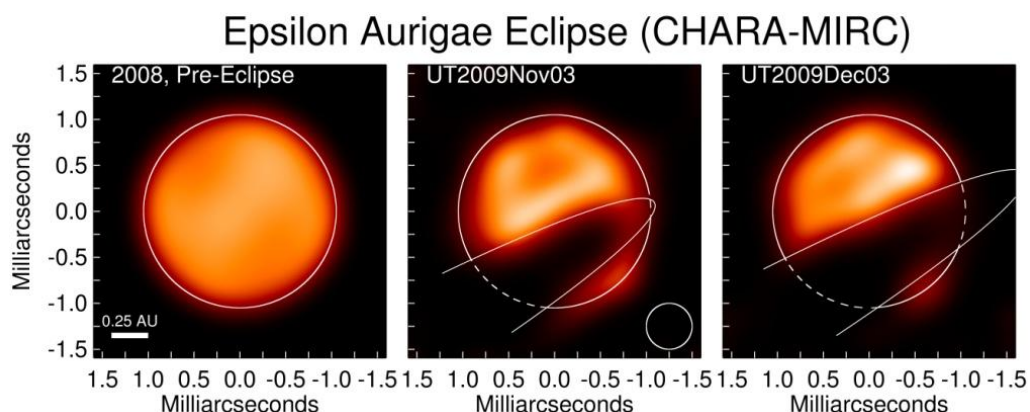
Stencel o. fl. (2011, 2012, 2013) og Kloppenborg o. fl. (2010, 2012, 2015) auk annarra hópa hafa birt fjölmargar niðurstöður úr ýmsum mælingaverkefnum meðan á myrkva ϵ Aurigae stóð, meðal annars þær sem eru sýndar á mynd 4. Eftir þær og fyrri rannsóknarsögu virðist sem ϵ Aurigae samanstandi af óstöðugri F0 stjörnu sem deilir samþungamiðju með líklega sambærilegri meginraðarstjörnu. Sú er hulin hinni gríðarmiklu aðsópsskífu. F0 stjarnan (sú sem birtan stafar frá) er mögulega að ganga í gegnum þróunarstig eins og ~ 67 daga birtusveifla virðist styðja.

Niðurstöður fengnar frá myrkvanum 1982—1984 höfðu gefið vísbendingar um að hiti aðsópsskífunnar væri um 500° K. Þetta var enn frekar stutt mælingum árin 2009—2011, en svo

virðist sem hitinn sé breytilegur og allt að 1150° K þeim megin sem hún dregur varma frá F stjörnunni. Líkön benda til að skífan sé ekki undin eða sveigð heldur hallist, og eins og fyrri kenningar höfðu spáð, sé hún opnari í miðju eða þynnri svo að meira ljós dreifist í gegnum skífuna (Kloppenborg o. fl., 2015). Fjarlægð ϵ Aurigae er ekki þekkt og það vegur þungt í líkanagerðum af kerfinu. Einnig leikur vafi á þvermáli stjörnnunnar og þróunarstigi. Næsti myrkvi mun verða 2036—2038.



Mynd 3. Birtuferill ϵ Aurigae (á v- og b-borða) byggður á mælingum verkefnahópsins. Sýndarbirtustig er á lóðás (y-ás) en júlíanskur dagur á langás (x-ás). Jafnframt eru sýndar láréttar brotalínur fyrir meðaltalsbirtustig á v og b litsviðum (græn og blá) meðan stjarnan er utan myrkva (OOE: Out Of Eclipse) og meðaltalsbst í myrkva (rauð brotalína). Punktadreif eru mæld bst-gildi á v (grænir) og b (bláir) litsviðum yfir tímabilið. Rekja má gróflega atburðarásina eftir rauðu brotalínunni. Gulleitu súlurnar marka gróflega sumartíma á Íslandi, en þá var ekki hægt að mæla stjörnuna. Myndin var unnin af höfund, sem naut aðstoðar Alexöndru Heimisdóttur við að gera gögnin tölvutæk til úrvinnslu og flokkunar.



Mynd 4. Merkileg atburðarás náðist með CHARA bylgjuvúxlmælinum á Wilson-fjalli í Kaliforníu, af aðsópsskífunni ganga fyrir ϵ Auriga haustið 2009. Það er greint ýtarlega frá þessum myndum í grein Kloppenborg o. fl. (2010).

1.3 Heimildir

AAVSO 2017. American Association of Variable Star Observers. Vefslóð: <https://www.aavso.org/>

Hopkins, J. L., & Stencel, R. E. 1982. Epsilon Aurigae – Campaign Letter 1982—1984 Eclipse. Vefslóð: http://www.kloppenborg.net/research/epsilon-aurigae/files/newsletter_1982_03.pdf.

Hopkins, J. L. 1987. The 1982-1984 Eclipse Campaign for Epsilon Aurigae. *International Amateur-Professional Photoelectric Photometry Communication*, No. 27, p.30. Vefslóð: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1987IAPPP..27...30H>.

Kloppenborg, B., Stencel, R., Monnier, John D., Schaefer, G., Zhao, M., Baron, F., McAlister, H., ten Brummelaar, T., Che, X., Farrington, C., Pedretti, E., Sallave-Goldfinger, P. J., Sturmann, J., Sturmann, L., Thureau, N., Turner, N., Carroll, S. M. 2010. Infrared images of the transiting disk in the ϵ Aurigae system. *Nature* 464:870-872. Vefslóð: <https://www.nature.com/>.

Kloppenborg, B., Hopkins, J. L., Stencel, R. E. 2012. An Analysis of the Long-term Photometric Behavior of ϵ Aurigae. *The Journal of the American Association of Variable Star Observers*, vol. 40, no. 2, p. 647 JAAVSO. Vefslóð: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2012JAVSO..40..647K>.

Kloppenborg, B. K., Stencel, R. E., Monnier, J. D., Schaefer, G. H., Baron, F., Tycner, C., Zavala, R. T., Hutter, D., Zhao, M., Che, X., Ten Brummelaar, T. A., Farrington, C. D., Parks, R., McAlister, H. A., Sturmann, J., Sturmann, L., Sallave-Goldfinger, P. J., Turner, N., E. Pedretti, E., & Thureau, N. 2015. Interferometry of ϵ Aurigae: Characterization of the Asymmetric Eclipsing Disk. *AJ Supplement Series*, 220:14 (22 bls). Vefslóð: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0067-0049/220/1/14/pdf>.

Stencel, R. E., Kloppenborg, B. K., Wall, R. E. Jr., Hopkins, J. L., Howell, S. B., Hoard, D. W., Rayner, J., Bus, S., Tokunaga, A., Sitko, M. L., Bradford, S., Russell, R. W., Lynch, D. K., Hammel, H., Whitney, B., Orton, G., Yanamandra-Fisher, P., Hora, J. L., Hinz, P., Hoffmann, W., & Skemer, A. 2011. Infrared Studies of Epsilon Aurigae in Eclipse. *AJ*, Vol. 142, no 5. Vefslóð: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/142/5/174/meta>.

Stencel, R. E. 2012. ϵ Aurigae—An Overview of the 2009–2011 Eclipse Campaign Results. *JAAVSO* Volume 40:1-15. Vefslóð: <http://mysite.du.edu/~rstencel/JAAVSO-Stencel-summary.pdf>.

Stencel, R. E. 2013. Results of the Recent ϵ Aurigae Eclipse Campaign. *arXiv:1303.7128v2*. Vefslóð: <https://arxiv.org/abs/1303.7128v2>.