

Hugfræði og skynjunarvísindi í íslömskum vísindaheimi miðalda

Árni Kristjánsson

Rannsóknastofa í sjónvísindum, Háskóli Íslands

Aristóteles sagði að maðurinn mæti sjónskynjun öðrum skynfærum meira. Í gegnum heimspeki- og vísindasöguna hefur miklum tíma verið varið í rannsóknir á sjónskynjun og eru rannsóknir og kenningar Keplers oft nefndar sem upphafspunktur nútímasjónskynjunarvísinda. En í þeirri frásögn er horft fram hjá merku framlagi vísindamanna innan íslamska menningarheimsins á miðöldum. Íslamskir vísindamenn varðveittu ekki einungis þekkingu Forn-Grikkja, heldur bættu þeir miklu við hana. Vísindamenn eins og Ibn-lshaq, Al-Kindí, Avicenna og þó sér í lagi Alhazen lögðu mikið af mörkum til skilnings á sjónskynjun og vísindagrein þeirri sem nú er kölluð hugfræði og höfðu mikil áhrif á sporgöngumenn sína á endurreisnartímanum, þar á meðal Kepler. Raunar er *Bók um ljósfræði* eftir Alhazen eitthvert merkasta rit um sjónskynjun sem komið hefur út. Alhazen kynnti til sögunnar hugmyndir um hvernig sólarljós endurvapest í umhverfinu og berst inn í augað og hvernig ímynd varpast á ljósnæm svæði innan augans, auk þess sem bókin er líklega fyrsta heildstæða ritið um sálfræði skynjunar. Viðfræg lausn Keplers á gátunni um endurvarp ljóss á sjónbotninn endurspeglar áhrif Alhazens úr ritum vísindamanna á 13. og 14. öld sem höfðu aðgang að hugmyndum hans.

Efnisorð: *saga sálfræðinnar, íslömsk sálfræði, skynjunarvísindi.*

Í frægri bók Edwins G. Boring (1942) um sögu skynjunarsálfræðinnar er tímalína um sögu hugmynda um skynjun. Þar kynnir Boring helstu kenningasmiði þessarar sögu. Sú tímalína hefst árið 1600 og er fyrsta nafnið á henni Jóhannes Kepler (1570–1630). Hugmyndasagan er svo rak-in frá uppgötvunum Keplers fram til 20. aldar. Nær ekkert er hins vegar minnst á rannsóknir og uppgötvanir vísindamanna innan íslamska menningarheimsins á miðöldum. Þetta segir meira en mörg orð um hvernig lítið hefur verið á sögu skynjunarvísinda fyrir tíma Keplers. Að sönnu gerði Kepler ómetanlegar uppgötvanir og leysti mörg vandamál sem lengi vöfðust fyrir vísindamönnum en upphaf skynjunarvísinda er rétt að færa aftur í tímann um að minnsta kosti 600–700 ár.

Í hugmyndasögunni er oft skautað fram hjá merkum vísindauppgötvunum innan Arabaheimsins á miðöldum og látið sem lítið hafi gerst á þessum langa tíma frá fornöld að endurreisnartímanum, tíma sem spannar miðaldirnar. Kannski á þetta við þegar fjallað er um vísindi og heimspeki á Vesturlöndum en þær voru ekki jafn myrkar í hinum

íslamska menningarheimi. Á þessum tíma voru mörg Mið austurlanda fjölmenningsfélög þar sem þekking og menntun voru höfð í hávegum (Khan, 2016a; Maziak, 2005). Til dæmis ríkti töluvert umburðarlyndi gagnvart öðrum trúarbrögðum. Maímónides, hinn þekkti heimspekingur gyðingdóms, skrifaði, sem dæmi, á arabísku og voru helstu áhrifavaldar hans íslömsku heimspekingarnir Al-Farabí, Avicenna og Averrós.

Ein ástæðan fyrir því hversu lítið er fjallað um vísindastarf innan íslamska menningarheimsins á miðöldum er eflaust skortur á aðgengi að frumheimildum. En á síðustu áratugum hefur töluvert verið bætt úr þessu og innan þekkingarfræði og skynjunarvísinda ber hæst þýðingu Abdelhamids Sabra á bók Ibn al-Haythams (Alhazens á latínu) um ljósfræði, *Kitāb al-Manāẓir* frá 1039 (Ibn Al-Haytham, 1989).

Árni Kristjánsson er prófessor við Rannsóknarstofu í sjónvísindum, Sálfræðideild, Heilbrigðisvísindasviði, Háskóla Íslands, Odda við Sturlugötu, Reykjavík, og National Research University, Higher School of Economics, Moskvu, Rússlandi. Netfang: ak@hi.is

Ætlun mín í þessari grein er að fjalla um framlag menningarheims Araba á miðöldum til hugfræði og skynjunarvísinda með aðaláherslu á sjónskynjun. Helstu vísindamenn Arabaheimsins settu fram áhugaverðar og frumlegar hugmyndir um hugfræði, ljósfræði og sjónskynjun sem ná hámarki með meistaraverki Alhazens¹.

Baksvið vísindastarfs innan íslam

Eftir að grísk-rómverska gullaldarskeiðið í heimspeki leið undir lok við upphaf miðalda færðist miðpunktur vísindastarfs til íslamskra menningarsvæða, til kalífadæmana í Austurlöndum nær, Norður-Afríku, og til hins íslamska hluta Íberíuskaga. Á þessum tíma varð mikil útrás íslamskra áhrifa. Borgir eins og Bagdad Damaskus, Cordoba og Samarkand auðguðust á viðskiptum og var miklum fjármunum veitt í vísindastarf.

Menntun var mikils metin innan þessa menningarheims og fáfræði talin svo skammarleg að ómenntaðir fóru með það eins og mannsmorð (Scott, 1994). Á sama tíma átti vísindastarf innan hinna fornu menningarþjóða undir högg að sækja hjá keisurum austur-rómverska heimsveldisins og undir kristni². Fjölræðingurinn Al-Farábí (872–950) sagði að heimspeki hefði losnað undan oki fáfræðinnar þegar hún barst til íslamska menningarheimsins (Al-Khalihli, 2010; Saliba, 2007). Heimspekin var að hans mati ofsótt undir kristninni en naut verndar innan íslam. Hugmyndir hinna svokölluðu mutazilíta nutu hylli innan íslam á þessum tímum (Fakhry, 2004). Mútazilítar voru skynsemishyggiðmenn, húanistar og hófsemdarmenn í trúmálum sem mátu þekkingaröflun mikils. Markmið þeirra í vísindum og trúmálum var að hylla afl skynseminnar. Mútazilítar voru andsnúnir því að Kóraninn innihéldi allt sem vita þyrfti og að leita utan hans væri and-íslamskt. Þetta er að sjálfsögðu gamalkunnugt stef um baráttu trúar og vísinda en þarna fengu vísindin að njóta vafans.

Þó að framlag þessara arabísku vísindamanna sé vanmetið á okkar vesturlandamiðuðu tímum

(Al-Khalihli, 2010; Gal og Morris, 2013; Saliba, 2007; Turner, 1995) endurspeglast margar hugmyndir vísindamanna íslamska fræðaheimsins á miðöldum í hugmyndum evrópskra vísindamanna og heimspekinga endurreisnartímans og nýaldar, hugmyndir sem lögðu grunninn að vísindabyltingu 16. og 17. aldar. En nú er jafnvel vitnað til hugmynda vísindamanna innan íslams sem hálfgerðs skemmtiefnis, og má þar nefna hugmyndir eins og að augun varpi geislum sem lýsa upp umhverfið sem geri okkur kleift að sjá – hugmynd sem raunar er rétt að eigna Forn-Grikkjum frekar en vísindamönnum íslams. En þessa hugmynd má að hluta rekja til þess að fullnægjandi þekkingu á ljósfræði, lífeðlisfræði og líffærafræði augans skorti. Til dæmis voru útgeislunarhugmyndir um sjónskynjun studdar góðum hornafræðilegum rökum og örðugt var að ímynda sér hvernig upplýsingar frá umhverfinu kæmst til augans áður en betri þekking á eðli ljóssins og ljósbrotseiginleikum augans bauðst. Alhazen, einn merkasti vísindamaður íslamska menningarheimsins leysti þessa helstu gátu skynjunarvísindanna um hvort við öðlumst sjónrænar upplýsingar með inngeislun eða útgeislun ljóss. Alhazen sýndi fram á hversu auðveldlega ljós gæti borist inn í augað og augasteinninn varpað ímynd af umhverfinu á sjónbotn sem er næmur fyrir ljósi (Árni Kristjánsson, 2018).

Þó Boring (1942) hafi sett upphafspunkt sögu sjónskynjunarvísinda við Jóhannes Kepler var Kepler beint eða óbeint undir áhrifum íslamskra vísindamanna miðalda. Kepler og þeir sem helst höfðu áhrif á hann eins og John Peckham (1230–292), Erasmus Vitellonius (einnig þekktur sem Witelo, f. 1230) og Roger Bacon (1219–1292) höfðu aðgang að ljósfræði Alhazens (Smith, 1992). Augasteinninn brýtur ljós og varpar ímynd af heiminum á sjónbotn. Vegna ljósbrotseiginleika augans snýr þessi ímynd af heiminum öfugt þannig að neðri hluti sjónsviðs varpast á efri hluta sjónbotns og hægri hluti sjónsviðs varpast á vinstri helming sjónbotns. Þessi uppgötvun hefur löngum verið eignuð Kepler

1 Hér eftir nota ég latnesku útgáfu nafnsins.

2 Til dæmis var stærðfræðingurinn og stjörnufræðingurinn Hypatía frá Alexandríu myrt af æstum múg kristinna manna árið 370.

(2000), að hluta með réttu, en hún á sér þó augljósar rætur í rannsóknnum Alhazens á hvernig linsur, eins og augasteinninn, brjóta ljós og varpa ímynd. Við uppgröft í borginni Nimrud (sem er þar sem nú er Írak) um miðbik 19. aldar fundust merki um rannsóknir á linsum frá 7. öld og nýlegar þýðingar á verkum ljósfræðingsins Ibn-Sahls (940–1000) (Rashed, 1990) sýna að mörg lögmál um endurvarp ljóss, sem gjarnan eru eignuð vísindamönnum endurreisnartímans, eins og t.d. Galíleó og Leónardó Da Vinci, voru þekkt á 10. öld hjá vísindamönnum sem störfuðu fyrir Abbasíd-kalífadæmið. Verkan linsa var einnig þekkt meðal Forn-Grikkja og til dæmis reyndi Arkímedes að kveikja í skipum Rómverja, þegar þeir réðust á Sýrakúsu, með linsu sem var nægjanlega öflug til þess að mynda brennipunkt sem dugði til að kveikja í skipum Rómverjanna (Middleton, 1961; Simms, 1977).

Áhrif Forn-Grikkja

Á blómatíma vísindastarfs innan íslams fór jafnframt fram mikið þýðingarstarf þar sem rit forngrísku heimspekinganna og vísindamannanna voru þýdd á arabísku (Virk, 2003). Vísindamenn Arabaheimsins drógu aldrei dul á að þeir ættu grískum vísindamönnum og heimspekingum, og sérstaklega Aristótelesi (384–322 f.Kr), mikið að þakka og eru hugmyndir Aristótelesar útgangspunktur í mörgum ritum þeirra.

Hins vegar er rangt að vísindastarf innan Arabaheimsins hafi fyrst og fremst fólgið í að varðveita rit Aristótelesar og annara heimspekinga fornaldar sem þá lágu í gleymsku á Vesturlöndum. Nærtækasta heimildin um þetta kemur frá vísindasagnfræðingi innan íslamska menningarheimsins, Ibn Ishaq Al-Nadím (lést undir lok 10. aldar). Al-Nadím skrifaði samtímasögu og aldarspegil þessa tíma í ritinu *Kitāb al-Fihrist* (Al-Nadím, 1998), sem fyrst kom út árið 987. Al-Nadím birtir þar lista yfir þá sem þýddu rit vísindamanna fornaldar. En þessi samtímalýsing sýnir jafnframt að mikil einföldum felst í að halda fram að vísindastarf þeirra hafi fyrst og fremst falist í þýðingum

eða að þýðingarstarfið hafi verið forsenda vísindastarfs (Saliba, 2007, bls. 28–29).

Rétt er að vísindamenn Arabaheimsins varðveittu rit Aristótelesar og annara forngrískra heimspekinga. Stór þekkingar- og þýðingasetur voru sett á fót í Bagdad og í Toledó í Andalúsíu. En arabísku vísindamennirnir gerðu miklar viðbætur við þessi rit og voru meintar þýðingar iðulega endursagnir með viðbótum og betrubótum fremur en þýðingar. Oft voru því uppgötvanir og kenningar Aristótelesar, Evklíðs eða Ptólemajosar notaðar sem grunnur og frekari uppgötvunum bætt við. Til dæmis leit Al-Farabí (872–950) svo á að hlutverk hans væri að koma þekkingu Forn-Grikkja á framfæri en jafnframt að betrubæta, bæta við og útskýra (Eastwood, 1979). *Kitāb al-Fihrist* sýnir glögggt að fjarri lagi er að íslamskir vísindamenn hafi litið á verk Forn-Grikkja sem upphaf og endi þekkingarinnar og oft má greina lítillæti í skrifum þeirra þar sem þeir eigna Forn-Grikkjum sínar eigin hugmyndir. Íslamskir vísindamenn miðalda gerðu margar mikilvægar þekkingarfræðilegar uppgötvanir og ekki er víst að framfarir í vísindum 16. og 17. aldar hefðu gengið jafn hratt fyrir sig hefði ekki verið hægt að byggja á þeim grunni.

Aðbúnaður vísindamanna

Bagdad var líklega mikilvægasta menningarborg þessa blómaskeiðs vísindastarfs innan íslam. Á 8.–10. öld sátu þar framsýnir kalífar sem höfðu vísindi og listir í hávegum. Á tímum Abbasíd-kalífadæmisins, sem reis í Bagdad á síðari hluta 8. aldar, stóð vísindastarf í miklum blóma. Á meðal þessara höfsömu kalífa má nefna Al Mansúr (714–775) sem stofnaði Abbasíd-kalífadæmið og byggði borg friðarins (Madīnat as-Salām) í Bagdad á árunum 762–767. Afkomandi hans var Harun Al-Rashid (786–809), sem kallaður var „hinn mildi“³ og jukust þýðingar á vísindaritum fornaldar yfir á arabísku mikið á hans tíma. Sem dæmi má nefna að talið er að þetta þýðingarstarf hafi tryggt aðgang okkar að ritum Galens frá Bergamó.

3 Þetta er að sjálfsgöðu fyrirmyndin að engum öðrum en Harún hinum milda, sem miðaldra lesendur kannast við úr teiknamyndasögnum um Flaráð Stórvésir.

Mikill blómatími vísindastarfs átti sér svo stað á valdatíma Al-Ma'múns (813–833), sem var annar sonur Al-Rashids og var vísindamaðurinn *Ibn-Ishaq* áhrifamikill. Vísindamenn voru sendir í umfangsmikla leiðangra eins og til dæmis til að mæla ummál heimsins. Al-Ma'mún og hirð hans voru undir áhrifum hinna hófsömu nútazíla, og lýsti Al-Ma'mún því formlega yfir að Kóraninn væri skapaður en ekki eilífur (Al-Khalihli, 2010; Saliba, 2007).

Mikilvægasta framlag Al-Ma'múns til vísindanna er stofnun hins svokallaða *Húss vísdómsins* (*Bayt al-Hikma*) (Al-Khalihli, 2010). Sagan segir að Al-Mamún hafi dreymt rauðskeggjaðan mann sem vitjaði hans og sagðist vera Aristóteles (Saliba, 2007); og að hann hafi vitjað hans til þess að hvetja hann til afreka á sviði vísindanna og til þess að búa vel að vísindamönnum. Varð þessi draumur honum því hvatning til þess að stofna *Hús vísdómsins*.

Þetta vísindastarf lagði grunninn að endur-reisnartímanum og að uppgötvunum Kóperníkusar, Keplers og Galíleós (Hatfield og Epstein, 1979; Saliba, 2007; Van Hoorn, 1972; Virk, 2003). Gott dæmi um uppgötvunar á tímum *Húss vísdómsins*, sem staðist hafa tímans tönn, er stærðfræðiritið *Kitab al-jabr* eftir Muḥammad ibn Mūsā Al-Khwārizmī (780–850). Al-Khwārizmī notaði þar altækar reiknireglur (algóríþma⁴) í stað einstakra dæma, meðal annars til þess að leysa annars stigs jöfnur, aðferð sem við þekkjum undir samheitinu algebra sem byggir á arabíska heitinu al-jabr.

Áhrif Aristótelesar

Rit Aristótelesar voru flest öll þýdd á arabísku. Innan þekkingarfræði lagði Aristóteles áherslu á að gera þyrfti greinarmun á einstökum skynfærum og því sem hann kallaði samþættingarskynfæri (*aisthēsis koinē*) (Aristóteles, 1985, 425a,b). Hann taldi að einstök skynfæri (sjón, heyrn, snerting og lyktarskyn) hefðu sitt eigið viðfang en margt í skynjun yrði einungis skilið

með vísan til samþættingarskynfæris sem sér um túlkun á veruleikanum. Aristóteles gerði sér grein fyrir að skynjun okkar á veruleikanum er heildræn og krefst samþættingar upplýsinga frá öllum skynfærum og túlkunar á þeim. Þetta er gegnumgangandi hugmynd í langflestum nútímakeningum um skynjun (sjá t.d. Marr, 1982 og Rock, 1983), oft rakin til Hermanns von Helmholtz en réttara er að eigna Aristótelesi og Alhazen þessa hugmynd (Árni Kristjánsson, 2012, 2018). Margir vísindamenn í íslömskum samfélögum miðalda tóku upp þessa hugmynd Aristótelesar.

Gott dæmi um áhrif Aristótelesar á vísindamenn Arabaheimsins eru hugmyndir fjölfræðingsins Al-Farabís um sjónskynjun. Hann sagði að sjónskynjun væri kraftur eða tilhneiging í efninu sem er einungis til sem megund⁵. Það er einungis fyrir tilstilli ljóssins frá sólinni sem sjónskynjun raungerist sem er vel þekkt hugmynd úr kenningakerfi Aristótelesar (1999). Áhrif Aristótelesar má einnig glögg sjá í skrifum Alhazens eins og fjallað er um síðar í þessari grein. Þannig fjallaði Alhazen um að litur sé megund sem raungerist með tilkomu ljóss.

Þekkingarfræði í íslömskum menningarheimi miðalda

Eitt meginviðfangsefni íslamskra vísindamanna á miðöldum var hvað geri okkur yfirhöfuð kleift að sjá. Forngrískir heimspekingar og vísindamenn höfðu velt þessu fyrir sér og voru þrjár kenningar ráðandi. Í fyrsta lagi útgeislunarkenningar sem gerðu ráð fyrir að eldur bærist úr augum okkar og lýsti upp umhverfið. Þannig sagði Empedókles (492–432 f.Kr.) að eldurinn úr augum okkar gerði okkur kleift að sjá og notaði hann líkingu um mann sem gengur um að næturlagi með kyndil sem lýsir upp hluta umhverfisins (Árni Kristjánsson, 2012)⁶. Evklíð (~250–350 e.Kr.) og Ptólemajos (~100–170 e.Kr.) settu báðir fram áhrifamiklar útgeislunarkenningar um sjónskynjun. Helsti kostur útgeislunarkenninga

4 Orðið algóríþmi er einmitt dregið af nafninu Al-Khwarismi.

5 Megund er það sem tiltekið fyrirbæri hefur möguleika á að verða eða breytast í.

6 Þetta er samkvæmt frásögn Þeófrastosar (í Sedley, 1992).

var hversu vel þær gengu upp horna- og rúmfræðilega. Platón (427–347 f.Kr.) hélt fram *samvirknikenningu* þar sem ljós frá augunum veldur umbreytingu á andrúmsloftinu sem gerir okkur kleift að sjá í gegnum það⁷. Galen frá Bergamó (130–210 e.Kr.) hélt einnig fram slíkri *samvirknikenningu* (Siegel, 1970). Að síðustu voru *inngeislunarkenningar* eins og kenning Aristótelesar þar sem gert er ráð fyrir því að upplýsingar berist frá umhverfinu inn um augað, þar sem síðan er unnið úr þeim.

Íslömsku heimspekingarnir gerðu, í stuttu máli, uppgötvanir sem leiddu í ljós að inngeislunarkenningin var langbesta og einfaldasta skýringin á skynferlinu og felst eitt mikilverðasta framlag íslamskra vísinda til þekkingarfræðinnar í lausn þessarar gátu. Þessar uppgötvanir náðu hápunkti í verkum Alhazens. Hér fjalla ég um hugmyndir helstu vísindamanna íslamska menningarsvæðisins á miðöldum um þekkingarfræði og skynjun með sérstakri áherslu á skoðanir þeirra á því hvað geri okkur kleift að sjá. Athyglinni er beint að sjónskynjun því að þótt arabískir vísindamenn miðalda hafi sannarlega hugað að öðrum skynfærum var mestu þúðri eytt í að reyna að skilja sjónskynjun. Kannski endurspeglar þetta enn áhrif Aristótelesar því að Aristóteles sagði að maðurinn mæti sjónskynjun meira en önnur skynfæri.

Al-Kindí (801–873)

Al-Kindí fæddist í Basra sunnarlega á því svæði þar sem nú er Írak. Hann bjó síðar í Bagdad og stundaði vísindastarf innan Húss vísindómsins sem Al-Mamún hafði þá nýverið stofnað (Adamson, 2007). Í *Kitāb al-Fihrist* kallar Al-Nadīm hann heimspeking Arabanna. Í ritinu *De Aspectibus* (á latínu) fjallar Al-Kindí um ljósfræði og sjónskynjun (Lindberg, 1971a). *De Aspectibus* var áhrifamikil rit og hafði meðal annars áhrif á Roger Bacon og Robert Grosseteste á Vesturlöndum sem og sporgöngumenn Al-Kindís innan íslamska menningarheimsins (Lindberg, 1971b). Skrif Al-Kindís voru undir miklum áhrifum Aristótelesar og Evklíðs. Al-Kindí

taldi hlutverk sitt vera að koma þekkingu Forn-Grikkja, sérstaklega Aristótelesar, á framfæri, að miðla upplýsingum og fylla í eyður í skrifum gömlu meistaranna (Adamson, 2007).

Al-Kindí lagði áherslu á mikilvægi notkunar greinandi stærðfræði við vísindastarf og honum fannst kenning Evklíðs um hvernig ljós ferðast í beinum línunum vel til þess fallin að útskýra áhrif sjónarhorns á það hvernig við sjáum, sérstaklega vegna rúm- og hornafræðilegrar nákvæmni kenningarinnar sem getur meðal annars útskýrt dýptarskynjun (þó að grunnforsendan sé röng).

Al-Kindí sagði að útgeislunarkenningar um sjónskynjun hlytu að vera sannar sem er athyglisvert vegna þess hve mikill aðdáandi Aristótelesar hann var. En þetta má rekja til áhrifa Evklíðs og Ptólemajosar. Al-Kindí sagði að eyrun væru holulaga til að taka við upplýsingum en augun kúpt til að senda upplýsingar. Hann taldi jafnframt að fjarvídarskynjun yrði aðeins hægt að útskýra hornafræðilega með því að gera ráð fyrir að rúmmál geislanna, sem augun gefa frá sér, aukist eftir því sem fjær dregur auganu, líkt og keila sem hefur toppinn við augað og grunnflötinn við hinn skynjaða hlut (Lindberg, 1971b).

Evklíð gerði einmitt ráð fyrir að augað gæfi frá sér ljósgeisla sem ferðuðust frá auganu að hlutunum í umhverfinu og að rúmmál geislanna jykist svo að þeir yrðu keilulaga. Ptólemajos og Al-Kindí sögðu að þessi keila væri heil og óbrotin (Smith, 1999) en þéttari í miðju sem var í andstöðu við hugmyndir Evklíðs sem taldi keiluna samanstanda af aðskildum geislum (Lindberg, 1971b). Al-Kindí gerði ráð fyrir að nákvæmni væri mest í miðju keilunnar vegna þess að þar væru flestir geislar og taldi hann sig þannig geta útskýrt af hverju sjónin er skýrust í miðju sjónsviðsins. Þetta tengist einum rökunum sem Al-Kindí beitti gegn inngeislunarkenningum því að hann sagði að ef ljósið bærast inn um augað ættum við að geta séð allt í sjónsviði jafn skýrt, en sjónin væri skýrust í miðju sjónsviðs (Lindberg, 1971b). Al-Kindí vék þó frá Evklíð og Ptólemajosi með því að halda fram að útgeislunin kæmi frá hornhimnunni en ekki innan úr auganu sjálfu eins og Evklíð og Ptólemajos

⁷ Sjá í samræðunni Tímajos (Platón, 1961, bls. 1151-1211).

gerðu ráð fyrir. Evklíð og Ptólemajos lögðu of mikla áherslu á hornafræði á kostnað sálfræðilegrar nálgunar á viðfangsefnið. Til dæmis vildi Evklíð að kenningar um skynjun yrðu fyrst og fremst rúmfræðilegt viðfangsefni (Lindberg, 1978).

Það flækir greiningu á hugmyndum Al-Kindís að einnig má finna samvirknihugmyndir í anda Platóns og Galens frá Bergamó í skrifum hans. Hann gerði ráð fyrir að ljósgeislar væru ekki efnislegir heldur ylli hinn sjónræni kraftur umbreytingu á andrúmsloftinu sem gerði okkur kleift að sjá. Þarna virðist Al-Kindí setja fram galeníska túlkun á hugmyndum Evklíðs. Raunar má, ef til vill, rekja samvirknihugmyndir Al-Kindís til þess að honum voru ljósir gallarnir á útgeislunarkenningum.

Í frægu textabroti (Wade, 1999, bls. 19; Lindberg, 1976, bls. 21–22) dró Al-Kindí saman hugmyndir um hvernig sjón gæti komið til og fjórar helstu kenningar Forn-Grikkja um það. Sjón gæti komið til við inngeislun, eins og atómistarnir Demókrítus og Epikúros og fleiri héldu fram, útgeislun eins og hjá Evklíð og Ptólemajosi, samvirkni í anda Platóns og Galens og að form hlutanna finnist í andrúmsloftinu og berist þaðan til skynfæranna. Komst Al-Kindí að þeirri niðurstöðu að einungis útgeislun gæti gert grein fyrir sjónferlinu á sannfærandi hátt (Lindberg, 1971a). Al-Kindí talaði því með skýrum hætti gegn hugmyndum um inngeislun ljóss en mikilvægt er að kenningin, sem hann var andsnúinn, og sú sem hann sá sem hinn möguleikann við útgeislun, var hugmyndin um inngeislun forma (Lindberg, 1978) en ekki inngeislun ljóss. Á þessum tímum lá ekki fyrir sennileg kenning um hvernig ljós gæti borist inn í augað. Til þess skorti betri þekkingu á ljósfræði og því hvernig ljósbroti í augasteininum er háttað. Það beið Alhazens og Johannesar Keplers að útskýra hvernig augasteinninn gæti brotið ljós og varpað ímynd á ljósnæm svæði í auganu.

En þrátt fyrir að Al-Kindí hafi haft rangt fyrir sér um hvað geri okkur kleift að sjá, gerði hann margar mikilvægar uppgötvanir sem spörgöngumenn hans innan íslamska vísindaheimsins og vísindamenn endurreisnartímans nýttu

sér. Til dæmis hélt hann því fram að hlutirnir í umhverfinu vörpuðu geislum í allar áttir, sem er rétt lýsing á endurvarpi ljóss í umhverfinu, og er hugmynd sem Alhazen tók síðar upp (Lindberg, 1976, bls. 30).

Al-Kindí hafði jafnframt skoðanir á aðferðum við þekkingaröflun og vísindastarf. Hann benti á mikilvægi þess að hafa opinn huga, óttast ekki nýjar og framandi hugmyndir, þó að þær komi frá öðrum löndum eða þjóðflokkum, og meta leitina að sannleikanum ofar öllu (Al-Khalihli, 2010, bls. 124; Kheirandish, 2009).

Hunain Ibn-Ishaq (809–873)

Ibn-Ishaq er þekktastur vísindamannanna sem störfuðu við Hús vísidómsins í Bagdad á 9. öld. Ber það umburðarlyndi þessara tíma vitni að Al-Mamún setti hann yfir Hús vísidómsins þrátt fyrir að hann væri kristinn (Al-Nadim, 987/1998, bls. 693). Ibn-Ishaq var tungumála- maður, öflugur þýðandi og skrifaði þekktu kennslubók í sjónvísindum og augnlækningum (Azmi, 1996), sem er líklega fyrsta kennslubók- in í slíkum vísindum. Þar má meðal annars finna fyrstu nákvæmu teikninguna af augnvöðvunum sem er þekkt.

Þekkingarfræði Ibn-Ishaqs byggði á samvirknikenningu um sjónskynjun í anda Galens frá Bergamó sem gerði ráð fyrir að krafturinn frá auganu umbreyti andrúmsloftinu sem geri okkur kleift að sjá (Eastwood, 1982). Þessa hugmynd má jafnframt finna hjá Platóni, í samræðunni Tímajosi (Platón, 1961), eins og áður var getið. Samkvæmt slíkum kenningum berst ekkert efnislegt frá skynjandanum að því sem skynjað er. Skynjun verður gegnum hið gagnsæja andrúmsloft sem umbreytist vegna þess að það kemst í samband við augað.

Að sama skapi hafnaði Ibn-Ishaq inngeislunarkenningum og fundust honum slíkar kenningar fráleitar meðal annars vegna þess að hann taldi ómögulegt að atómasöfn gætu ferðast til svo margra einstaklinga samtímis sem horfa á sama hlutinn. Það er í sjálfu sér hægt að taka undir að það er ósennileg hugmynd – og þarna komum við aftur að því að erfitt var að setja fram sennilegar inngeislunarkenningar þegar þekking á

eðli ljóssins var ekki betri en hún var á þessum tíma. Til þess að inngæislunarkenningar yrðu sennilegar þurfti einhverja hugmynd um hvernig ljós gæti borist inn í augað. Á þessum tíma skorti einfaldlega nauðsynlega þekkingu á eðli ljóss. En eins og Alhazen benti síðar á var sama vandamál raunar innfalið í útgeislunar- og samvirkni kenningum því að einhvern veginn þurftu upplýsingarnar að komast aftur til skynjandans og hlutirnir í umhverfinu þurfa því að endurvarpa geislunum sem skynjandinn gefur frá sér (Ibn Al-Haytham, 1989).

Al-Farabí (um 872–950)

Al-Farabí er einnig þekktur sem Abu-Nasr og Alfarabíus. Hann bjó og starfaði lengst af í Bagdad en einnig í Damascus og Aleppó. Al-Farabí var andsnúinn hugmyndum Al-Kindís og Ibn-Ishaqs um útgeislun og samvirkni. Hann hélt fram inngæislunarkenningu um sjónskynjun þar sem hann gerði ráð fyrir að upplýsingar ferðuðust frá hlutunum að auganu.

Al-Farabí sagði að í sjónræna kraftinum, sem finna má í auganu, sé engin megund sem leitt geti til sjónskynjunar heldur geri sólarljósið okkur kleift að sjá. Samkvæmt Al-Farabí raungerist sjónskynjun í ljósinu sem berst frá sólinni (Lindberg, 1976). Sjónskynjun þarfnast ekki einungis andrúmslofts heldur einnig ljóss. Taldi Al-Farabí að ljósið raungerist í skynjun og notar þarna hugtök og orðfæri Aristótelesar.

Deilt er um hvort Al-Farabí hafi verið inngæislunarsinni eða samvirknisinni (Eastwood, 1979). Samkvæmt Lindberg (1978) varði hann útgeislunarkenningar með skýrum hætti. En Eastwood (1979) bendir á að margt í skrifum hans bendi til þess að hann hafi aðhyllst samvirkni kenningar.

Inngæislunarkenningar skiptu miklu máli vegna þess að ef upplýsingar (ljós, með öðrum orðum) berast auganu er hægt að rannsaka sjónskynjun óháð hornafræðinni, sem útgeislunarkenningar krefjast óhjákvæmilega, því að einfaldlega er hægt að fást við spurninguna um hvernig unnið er úr upplýsingunum sem berast auganu. Það var því hægt að brjótast undan oki kenninga Evklíðs. Hvort Al-Farabí aðhylltist samvirkni kenningar

eða inngæislunarkenningar skiptir þó líklega ekki mestu máli heldur frekar að Al-Farabí áttaði sig á göllum útgeislunarhugmynda Al-Kindís og grískra forvera hans.

Hvers vegna útgeislun?

Hvers vegna héldu vísindamenn og heimspekingar fornaldar svo fast í útgeislunarkenningar? Nærtakasta skýringin er að nægileg þekking á öðrum sennilegum möguleikum var einfaldlega ekki fyrir hendi. Þegar arabísku vísindamennirnir höfnuðu kenningum um inngæislun sjónupplýsinga höfnuðu þeir ekki nútímahugmyndum um inngæislun ljóss. Þekkingin á eðli ljóssins á þeirra tímum bauð hreinlega ekki upp á það. Inngæislunarkenningin, sem þeir litu á sem hinn möguleikann við útgeislun, voru kenningar í anda atómista fornaldar, Lúsippíusar og nemanda hans, Demókrítosar, sem og Epíkúrosar og kenningar hans um *eidola* (Burkert, 1977; Wade, 1998), sem fól í sér að ímyndir hlutanna bærust frá þeim að augunum (Árni Kristjánsson, 2012). Samkvæmt Epíkúrosi var þykkt ímynda á við eitt atóm. Slíkar ímyndir, eða eftirmyndir, af hlutunum bárust samkvæmt kenningunni í allar áttir í umhverfinu. Sjónskynjunarkenning Epíkúrosar var því inngæislunarkenning en af allt öðru tagi en slíkar kenningar í dag. Hann gerði ráð fyrir að hlutirnir leiddu til skynvitundar um sjálfa sig í huga skynjandans, og að þeir veittu upplýsingar um eðli sitt með því að senda frá sér hin svokölluðu *eidola*. Slíkar hugmyndir má einnig finna hjá rómverskum vísindamönnum, eins og Lúkretíusi (um 56 f.Kr.) (Ronchi, 1970).

Það eru augljósir gallar á þessari kenningu og hægt er að hafa skilning á efasemdum vísindamanna um hana og að þeim hafi þótt aðrir möguleikar sennilegri, jafnvel útgeislun frá auganu. Til dæmis er erfitt að skilja hvernig hlutirnir í heiminum geta stöðugt gefið frá sér eitt-hvað efnislegt, sem berst öllum sem gjóa á það augum. Það beið því frekari uppgötvana á eðli ljóss að vísindamenn miðalda öðluðust skilning á þessu ferli. Íslömsku vísindamennirnir, Avicenna, og sér í lagi Alhazen, lögðu þarna mikið af mörkum.

Avicenna (Abdullah Ibn-Sinha, 980–1037)

Persneski vísindamaðurinn Avicenna (öðru nafni Abdullah Ibn-Sinha) er einn merkasti heimspekingur og vísindamaður miðalda. Avicenna var fjölfræðingur eins og margir vísindamenn voru langt fram á 20. öld og er því ekki rúm til að rekja allt hans starf hér.

En hvað þekkingarfræði varðar var hugmynda-kerfi Aristótelesar útgangspunktur í kenningum Avicenna. Því hefur verið haldið fram að heimspeki 12. og 13. aldar í Evrópu, sem var aristótélisk í eðli sínu (helst tengd skólaspekinni), hefði verið óhugsandi án útleggingar Avicenna á fræðum Aristótelesar (McGinnis 2010).

Margar af merkustu hugmyndum arabíska vísindaheimsins um sjónskynjun og þekkingarfræði, og þar af leiðandi evrópskra vísindamanna endurreisnartímans og vísindabyltingarinnar, eiga rætur í hugmyndum Avicenna. Einnig má finna ýmis líkindi milli hugmynda Alhazens og Avicenna. En þó að þeir hafi verið samtímamenn er erfitt að segja til með vissu hve mikið þeir vissu af hugmyndum hvor annars.

Eitt þekktasta rit Avicenna heitir *Kitab al-Shifa*, sem þýða mátti sem *Lækningabókin*. Nafnið er viðeigandi því að markmið Avicenna með bókinni var að lækna vanþekkingu. Þar fjallar Avicenna um margt, meðal annars um sálfræði og þekkingarfræði. Þar tók hann meðal annars upp hugmynd Aristótelesar um samþættingarskynfærið (Kaukua, 2014). Samkvæmt Aristótelesi (1985) gegnir samþættingarskynfærið tveimur meginhlutverkum í skynferlinu: Í fyrst lagi sameinar það upplýsingar frá mismunandi skynfærum í eina heildartúlkun á veruleikanum. Í öðru lagi dregur samþættingarskynfærið fram skynjaða eiginleika eins og hreyfingu, magn og stærð (Robinson, 1989; Smith, 2001). Hugmyndir Avicenna voru svipaðar þessu og vísa leiðina að annarri ekki síður mikilvægri hugmynd Avicenna, um hlutverk skynseminnar í túlkun skynáreita (Hasse, 2000).

Samkvæmt Avicenna var augasteinninn meginlíffærið í sjónskynjun og hélt hann því fram að augasteinninn tæki við upplýsingum, hugmynd sem Galen frá Bergamó hélt líka fram (Siegel, 1970, bls. 58). Þessi hugmynd er gölluð og við

vitum nú að hlutverk augasteinsins er að varpa mynd af umheiminum á augnbotn þar sem ljósnæmar frumur breyta ljósi í taugaboð.

Avicenna hafnaði útgeislunarkenningum og tíndi til ýmis góð rök gegn þeim (Akdogan, 1984; Árni Kristjánsson, 2012). Til dæmis fann Avicenna geislum frá auganu ekki pláss eðlisfræðilega. Hann velti fyrir sér hvernig það mætti vera að rúmmál vatns ykist ekki þegar horft er á það en þó sjáum við til botns. Hann hélt því fram að það væri ekkert tóm sem gefið gæti geislunum pláss. Avicenna hafnaði jafnframt galenískum samvirknikenningum á þeirri forsendu að umbreytingar á andrúmslofti myndu leiða til breytingar á efninu fyrir alla en ekki bara skynjandann sjálfan. Ættu þeir sem sjá illa þá ekki að sjá betur þegar þeir horfa á sama hlutinn og þeir sem sjá vel (Lindberg, 1976)?

Avicenna taldi að rétt eins og skynupplýsingar (aðrar en litur og ljós) eru ekki skynjaðar vegna þess að eitthvað berist frá skynfærunum að hlutunum, hittir þá fyrir eða sameinast þeim á einhvern hátt, þá kemur sjónskynjun ekki til vegna þess að geislar berist frá auganu að hinum sjáanlega hlut, heldur vegna þess að form hlutarins berist auganu gegnum gagnsæjan miðil (Lindberg, 1978, bls. 150).

Avicenna sagði að ef geislar ættu að eiga einhver efnisleg samskipti við auga skynjandans verði þeir annaðhvort að vera samfellt efni og fylla rúmið að fjarlægustu stjörnum (sem hann taldi ólíklegt) eða skiljast að og þá yrði mynd okkar of umheiminum kornótt. En ef geislarnir halda sig ekki við augað eru þeir gagnslausskýring á skynjun. Og Avicenna velti líka upp hvers vegna vindur hafi þá ekki áhrif á skynjun? Avicenna taldi hið síðastnefnda jafnframt andmæli gegn samvirknikenningum (Lindberg, 1976). Einnig benti hann á að ef geislarnir stækkuðu eins og keila frá auganu – eins og Evklíð gerði ráð fyrir – ættu fjarlægir hlutir að virðast stærri en ekki minni eins og raunin er.

Öfugt við forvera sinn, Al-Kindí, hafnaði Avicenna útgeislunarkenningum því algjörlega. Í *Kitab al-shifa* útleggur Avicenna kenningu sína um sjónskynjun sem – af þeirri hógværð sem einkenndi íslamska vísindamenn miðalda – hann kallaði aristótéliska. Sjónskynjun verði

ekki vegna þess að eitthvað berist frá auganu að því sem við horfum á heldur vegna þess að form hlutanna berist gegnum gagnsæjan miðil. Hugmyndir Avicenna eru að sönnu nokkuð í ætt við það sem Aristóteles sagði um sjónskynjun í *De anima*: „Litir hreyfa við hinu gagnsæja efni, t.d. andrúmslofti, og þar sem þetta efni er samfellt hefur það síðan áhrif á skynfærið“ (Aristóteles, 1985). Það sem hins vegar skorti í skynjunarkenningu Avicenna var heildstæð útskýring á því hvernig ljós getur borist inn í augað.

Avicenna og maðurinn fljúgandi

Frá þekkingarfræðilegum sjónarhóli er eitt áhuga-verðasta framlag Avicenna hugartilaun hans um fljúgandi manninn sem hann setti fram í riti sínu *De anima* (um sálina)⁸.

Avicenna ímyndaði sér mann sem flýgur um án þess að hafa beina skynreynslu af neinu í umhverfinu (Brown, 2001; Marmura, 1986; Toivanen, 2015). Maðurinn fær engar upplýsingar gegnum skynfærin en hefur samt sem áður vitund um sjálfan sig. Avicenna taldi slíka vitund um eigið sjálf vera rök fyrir tilvist sálarinnar og er þessi hugartilaun hans athyglisverð sem slík. En hugartilaunin er ekki síður athyglisverð frá hugfræðilegu og þekkingarfræðilegu sjónarhorni þótt Avicenna hafi sjálfur ekki endilega hugsað hana svo. Slíkar hugmyndir eru vel þekktar í heimspekisögunni og eru kenndar við sjálfsveruhughyggju (Brynjólfur Bjarnason, 1954, bls. 36; Descartes, 1637/1991). Á 17. öld velti, til dæmis, René Descartes því fyrir sér hvernig hann gæti verið viss um að illkvittinn og máttugur demón hafi ekki gert sitt ítrasta til að blekkja hann og að veröldin, sem hann teldi sig skynja í kringum sig, væri ekki til en að demóninn væri að reyna að reyna að sannfæra hann um tilvist þessa gerviheims (Descartes 1637/1991, 15). Þessi spurning lifir enn góðu lífi og til dæmis spurði heimspekingurinn Hilary Putnam (1991) hvernig við gætum vitað að við séum ekki fórnarlömb vitfírrings sem hefur fjarlæggt heila okkar úr líkamanum, geymir hann í næringarvökva

og sér til þess með sérhæfðum búnaði að okkur finnist við vera inni í líkamanum eftir sem áður.

Ibn al-Haytham (Alhazen) (975–1039)

Um Ibn al-Haytham, sem venjulega gengur undir nafninu Alhazen, hefur verið sagt að hann sé merkastur eðlisfræðinga frá Arkímedesi, allt fram að Isaac Newton, og að hann sé upphafsmaður nútímaljósfræði (Unal og Elcioglu, 2009). Ég hef einnig kallað hann fyrsta hugfræðinginn því að framlag hans til sálfræði hugstarfs og skynjunar var gríðarlegt (Árni Kristjánsson, 2018). Hann lagði áherslu á rannsóknir og raunprófanir og á skipulega hugsun sem væri innblásin af raunprófunum (Gilchrist, 1996; Sabra, 1989; Smith, 2001) og að láta skoðanir ekki ráða því hvað við teljum vera rétt. Þetta er í ágætu samræmi við tíðarandann þegar Alhazen var uppi (Kheirandish, 2009).

Meginhluti skrifna Alhazens snerist reyndar um ljós og sjónskynjun. Leiða má að því líkur að öll þekking á auganu hafi, fram að hugmyndum Leonardos Da Vinci, verið byggð á hugmyndum Alhazens. Bók hans um ljósfræði, *Kitab Al-Manazir*, var hugsuð sem eins konar andsvar við skrifum Ptólemajosar (Smith, 2004). Alhazen leit svo á að úrvinnsla sjónáreita ætti sér stað í stigum; hún byrjaði með ljósgeislun, í kjölfarið fylgdi örvun skynnema (svokölluð *skynhrif*) og svo tæki við eiginleg skynjun þar sem skilningurinn leikur lykilhlutverk. Alhazen sagði: „Ekki verður allt sem við skynjum með sjóninni til í gegnum skynhrifin ein og sér heldur greinum við marga eiginleika hlutanna, sem við skynjum, með úrvinnslu og ályktun.“ Hann bætti svo við: „Sjónin ein og sér býr ekki yfir slíkum ályktunarhæfileikum heldur er skilningurinn þar að verki. Ýmsar aðgreiningar, sem rekja má til skilningsins, geta ekki orðið til án þess að skynhrif leiki þar hlutverk“ (El-Bizri, 2005; Ibn al-Haytham, 1989; Sabra, 1978, bls. 172–173).

Þetta viðhorf er gríðarframsýnt (Smith, 2004, bls. 188) og þarna greinir Alhazen að skynhrif og skynjun sem er aðgreining sem oft er eignuð skoska heimspekingnum Thomasi Reid

⁸ Þessi bók ber sama nafn og hin fræga bók Aristótelesar um þekkingarfræði.

(1764/1997). Erfitt er að finna nútímalegri texta um sjónskynjun fyrr en komið er fram á 19. öld, nánar tiltekið í lífeðlisfræðilegri ljósfræði Hermanns Von Helmholtz (1925).

Líkt og Avicenna, og Aristóteles á undan honum (Robinson, 1999), andmælti Alhazen útgeislunarkenningum og benti til dæmis á að þegar við horfum á sólina verðum við fyrir sársauka vegna þess að geislar sólarinnar brenna sjónuna (van Hoorn, 1972, bls. 113). Alhazen fjallaði einnig um eftiráhrif: eftir að við höfum horft á hjartan hlut í tiltekinn tíma sjáum við dökkan blett sem smám saman hverfur. Alhazens sagði að þetta bæri því vott að ljós berist inn í augað frekar en að það berist frá auganu.

Líklegast eru mikilvægustu uppgötvunar Alhazens innan ljósfræði og skynjunarvísinda þær sem hann gerði með því sem síðar var kallað *camera obscura*. Alhazen gerði lítið gat á myrkvað herbergi og athugaði síðan hvernig ljósið varpaðist inn í herbergið í gegnum gatið (Ibn Al-Haytham, 1989; Wade, 1998) (sjá einnig Sabra, 1989). Hann áttaði sig á að þetta herbergi líktist auga og ljósopi þess. En myndin, sem varpaðist af umhverfinu, sneri öfugt. Fannst honum það ekki ásættanleg niðurstaða og gerði ráð fyrir að geislunum í auganu væri snúið við innan augans áður en það bærst að ljósnæmum svæðum. Jóhannes Kepler stóð frammi fyrir sama vandamáli 500 árum síðar og var lausn hans sú rétta. Kepler sýndi fram á að ljósbrot innan augans færi einfaldlega fram á þennan hátt og að það væri hlutverk skilningsins að fást við þessar upplýsingar (Kepler, 2000). Þannig aðskildi Kepler ljósfræði og sálfræði skynjunar. Kepler lýsti þessu svo í frægri málsgrein úr *Ljósfræði* hans: „Ég mun eftirláta náttúruvísindamönnunum að komast að því hvernig þessi ímynd er sett saman og að ráða í þau andlegu lögmál sem ráða sjónskynjun á sjónbotni og í augunum, hvort þessi mynd birtist sálinni eða einhverju öðru dómsvaldi skynjunar eða sálar, eða hvort sálin sendi dómsfulltrúa frá stjórnstöðvum heilans sem mætir þessum upplýsingum í sjóntauginni eða nethimnunni líkt því að dómur félli á lægra dómstigi“ (Kepler, 2000; sjá Smith, 1998 og Straker, 1981).

Hins vegar var uppgötvun Alhazens um hvernig

ljósgeislar varpast um ljósop afar stórt skref fram á við til aukins skilnings á sjónskynjun. Og hugmyndir Alhazens um endurvarp ljóss í umhverfinu voru ekki síður byltingarkenndar. Hann hélt því fram að ljós ferðaðist í beinni línu og að hver einasti punktur á hlutnum, sem ljós varpast á, endurvarpi ljósinu í allar áttir og að ljósið ferðist mishratt eftir því hvaða efni það streymir gegnum (Ibn al-Haytham, 1989; Khan, 2016a). Þessi hugmynd Alhazens markar þáttaskil í ljósfræði, eðlisfræði og skynjunarvísindum. Með kenningu sinni um skynjun tókst Alhazen að samþætta nákvæma stærðfræðiútleggingu á ljósi og ljósbroti, lífeðlisfræði og sálfræði skynjunar innan heildrænnar inngeislunarkenningar um sjónskynjun.

Aristóteles hafði fjallað um það sem hann kallaði samþættingarskynfæri. Auðvelt er að sjá það fyrir sér sem skilninginn en Alhazen ætlaði skilningnum stórt hlutverk í skynjun við túlkun áreita og tók hann þessa hugmynd Aristótelesar upp í kenningum sínum. En hugmyndir Alhazens um að skilningurinn vinni úr sjónáreitunum standa umfjöllun Aristótelesar stóru skrefi framár.

Alhazen komst að þeirri niðurstöðu að skilningurinn skipti mestu um skynjun okkar og taldi það vera í eðli mannsins að meta sjónáreitin og draga ályktanir um þau án þess þó að þurfa að beita hugsun sinni viljandi. Þannig eru ályktanir, þar sem forsendurnar eru augljósar, manninum eðlislægar því að þegar við skynjum niðurstöðu ályktunarinnar erum við ekki meðvituð um að við höfum dregið einhverja ályktun. Ályktunarhæfni okkar sér um þetta án þess að hún þurfi að hugsa eða erfiða á nokkurn hátt heldur endurspeglar þetta eðli okkar, sem og vana. Þessi hugmynd minnir um marga á kenningu Hermanns von Helmholtz um ómeðvitaðar ályktanir en þó er mikilvægt að greina að hugmyndir Helmholtz og Alhazens því að Helmholtz taldi að þessar ómeðvitaðu ályktanir væru lærðar en Alhazen taldi þær endurspeglar eðli okkar, ásamt námi, sem er mun nútímalegra viðhorf (Ibn Al-Haytham, 1989, bók II, bls. 136–137).

Í öðrum og þriðja hluta *Bókar um ljósfræði* fjallar Alhazen síðan um ýmis viðfangsefni sem ekki er fjallað um innan þekkingarfræði fyrr en í hugfræðibyltingunni á 6. og 7. áratug 20. aldar

(sjá Árni Kristjánsson, 2018). Það er magnað að lesa í 1000 ára gömlu riti umfjöllun um hugfræði sem gæti sómt sér vel í kennslubókum um skynjun og hugfræði á 21. öldinni (sjá umfjöllun í Árni Kristjánsson, 2018).

En þó Alhazen hafi komist mjög langt með að leysa gátuna um hvernig augasteinninn myndar ímynd af umheiminum á sjónbotni þá tókst honum það þó ekki alveg vegna þess að hann gerði ráð fyrir að ljósbrot innan augans tryggði að sjónmyndin væri upprétt. Leiddar hafa verið að því líkur að trúarlegar eða menningarlegar ástæður hafi komið í veg fyrir að hægt hafi verið að leysa gátuna um ímyndina sem varpast á sjónbotni, gátuna sem beið þá Keplers (Oon og Subramaniam, 2009). Til dæmis er ekki ljóst hversu mikinn aðgang arabískir vísindamenn miðalda hafi haft að upplýsingum úr krufningum vegna þess að krufningar voru litnar hornauga í arabíska menningarheiminum (Savage-Smith, 1995).

Ekki er fullkomlega ljóst hvað Alhazen taldi vera hið næma skynfæri (Wade, 1998). Oftast virðist hann þó eiga við augasteininn og að ljósið varpast á aftasta hluta hans en einnig eru merki um að hann hafi talið sjónbotninn vera svæðið sem mynd af umheiminum er varpað á. Það var að lokum Kepler sem tók af allan vafa um að ímynd af heiminum er varpað á sjónbotni þar sem finna má frumur (stafi og keilur) sem eru næmar fyrir ljósinu sem þangað berst (Kepler, 2000).

Gareth S. Mathews (1978) segir að miðaldakenning um sjónskynjun, sem hann rekur til Alhazens, sé best lýst með eftirfarandi fullyrðingu Keplers: „Sjónskynjun á sér stað þegar ímynd veraldarinnar, sem er framan við augað, varpast á hið kúpta ljósrauða yfirborð sjónbotnsins.“ Bæði Kepler og Alhazen gerðu sér grein fyrir því að það sem tekur við er úrvinnsla og í henni felst skynferlið og jafnframt að augað er framlenging heilans eins og Galen hafði áður haldið fram.

Í samhengi við umfjöllun um Alhazen er að lokum rétt að minnst á Kamal al-Din Al-Farísí (1267–1319) sem var, líkt og Alhazen, leiðandi í lífeðlisfræðilegri ljósfræði. Hann skrifaði meðal annars ítarlegar athugasemdir við áður nefnda bók Alhazens um ljósfræði, *Kitab al-Manazir* (Ibn

Al-Haytham, 1989), og bárust þessi skrif hans víða. Al-Farísí átti því mikinn þátt í útbreiðslu hugmynda Alhazens (Sabra, 2007).

Engum blöðum er um það að fletta að Alhazen hafði gríðarleg áhrif á sporgöngumenn sína. Þótt framlag Keplers sé að sönnu mikilsvert og hann hafi leyst margar gátur (Alhazen gerði sér til dæmis ekki grein fyrir að sjónan væri hið næma líffæri heldur hélt hann því fram að það væri augasteinninn), markar bók Alhazens um ljósfræði þáttaskil. Þegar hann hafði sýnt fram á hvernig inngæisun ljóss virkaði gátu vísindamenn snúið sér að því að rannsaka hvernig unnið er úr upplýsingunum sem berast inn um ljósupaugans. Einnig má segja að Alhazen hafi snúið útgeislunarkenningum Evklíðs og Ptólemajosar á hvolf svo að hægt var að nýta hornafræðina að baki kenningum þeirra í inngæisunarkenningunum. Samkvæmt Evklíð og Ptólemajosi ferðuðust geislarnir frá auganu og mynduðu keilu og stækkaði breiðari endi keilunnar eftir því sem fjær dró auganu. Hornafræðilega má segja að Alhazen hafi einfaldlega snúið keilunni við og sýnt fram á annan möguleika við inngæisun, þ.e. hvernig ljósgeislar geti borist ljósnæmum svæðum í auganu.

Einnig er mikilvægt að Alhazen hélt því fram að hægt væri að skilja skynjun á tveimur mismunandi stigum, bæði út frá eðli ljóss og út frá sálfræði skynjunar (Árni Kristjánsson, 2012, 2018; Parker, 2005; Sabra, 1978; Wade, 1999). Hann hélt því fram að þegar við skynjum heiminn byggjum við upp innri ímynd sem endurspeglar túlkun okkar á umheiminum en það er í góðu samræmi við nútímakenningar um skynjun.

Ibn Sahl (940–1000)

Ibn Sahl starfaði innan Abbasíd-kalífadæmisins og gerði rannsóknir innan rúmfræði og hornafræði, ásamt rannsóknum á sjónskynjun, og þá helst ljósbroti og linsum (Rashed, 1990). Hann er þekktastur fyrir ritið *Kitab al-Parrāqat* þar sem hann fjallaði um ljósbrot og brennipunkta. Hann virðist til dæmis hafa uppgötvað það sem síðar hefur verið kallað lögmál Snells um ljósbrot, um hvernig ljós brotnar þegar það ferðast í gegnum efni sem er þéttara en andrúmsloftið,

600 árum áður en Willebrord Snellius, sá sem lögmálið er kennt við, lýsti því (Khan, 2016a; Kwan, Dudley og Lantz, 2002). Kwan og félagar halda því fram að réttara sé að kenna lögmálið við Ibn Sahl en Snellius.

Al-Biruni (973–1048)

Þegar rætt er um þekkingarfræði í íslömskum vísindum miðalda er rétt að geta um Al-Biruni sem meðal annars hélt því fram að Forn-Grikkir hefðu reitt sig um of á rökgreiningu á kostnað raunprófana og tilrauna (Boruch, 1984). Þetta taldi hann hafa leitt þá til rangra niðurstaðna um margt og reyndi Al-Biruni meðal annars að prófa kenningar Aristótelesar vísindalega. Þetta sýnir fram á hvernig íslamskir vísindamenn voru óhræddir við að benda á galla í kenningakerfi Forn-Grikkja og reyndu að betrubæta þeirra hugmyndir. Einnig ber þetta vott um að þeir lögðu áherslu á gildi raunprófana (Kheirandish, 2009).

Averrós (Ibn Rushd, 1126–1198)

Að síðustu þarf að geta Averrós sem líklegast er merkasti vísindamaður íslamska menningarheimsins undir lok blómaskeiðs hans á miðöldum. Eins og svo oft er raunin með arabíska vísindamenn miðalda var heimspeki Averrós í anda Aristótelesar. Hann fjallaði um skynjun út frá samþættingarskynfærinu og um hlutverk skilningsins í úrvinnslu skynupplýsinga. Hann lagði áherslu á að til þess að skilja skynjun væri nauðsynlegt að gera ráð fyrir aðkomu skynseminnar að því ferli og fetaði þannig í fótspor Aristótelesar, Avicenna og Alhazens. Averrós var sá íslömsku fjölfræðinganna sem þróaði hugmyndir Aristótelesar hvað mest. Hvað skynjun varðar hélt Averrós því fram að andrúmsloftið taki við formi hlutanna og beri formið að ytra byrði augans sem færir það síðan að samþættingarskynfærinu.

Í takti við aristótélíska anda kenninga sinna, sagði Averrós að skynfærin væru megund hinna skynjuðu hluta en ekki hlutirnir sjálfir. Þannig skynjum við ekki hlutina sjálfa heldur eitthvað sem líkist þeim. Averrós fjallaði síðan um

hvernig vitsmunirnir tækju við upplýsingum frá skynnemunum og ynnu úr þeim. Averrós velti því fyrir sér hvort hið næma yfirborð augans væri augnbotninn (Ivry, 1966, 1995; Wade, 1998;), öfugt við skoðun Alhazens.

Averrós hafnaði einnig hugmyndum Platóns um upprifjun þekkingar (Platón, 1993). Hann sagði að ef nám fæli í sér upprifjun hugmynda sem þegar liggja fyrir innra með okkur ættum við að geta notið þeirra án skynfæranna; færði hann rök fyrir því að skynfærin væru þá jafnframt óþörf og taldi hann það vera andstætt náttúrulegumálunum að eitthvað óþarft væri skapað (Averrós, 1967).

Al-Fárizí (d. 1320)

Al-Farizi fetaði í fótspor Alhazens og veittu rannsóknir hans innsýn í hvernig litir regnbogans verða til. Varð hann þar með um 400 árum á undan Newton (1730/1979) að rannsaka og skilja hið tvöfalda ljósbrot sem á sér stað innan vatnsdropa og þar með leyndarmál regnbogans (Khan, 2016b), sem er venjulega þakkað Isaac Newton (Sabra, 2007; Topdenir, 2007). Þó ekki standi til hér að fara að líkja Al-Farizi við Newton sjáum við samt hér enn eitt dæmið um hvernig uppgötvanir í íslamska menningarheiminum á miðöldum hafa fallið í gleysku.

Lokaorð

Á 12. öld jukust samskipti Vesturlanda og íslamskra ríkja til mikilla muna (t.d. í Andalúsíu) og barst meðal annars *Bók um ljósfræði* eftir Alhazen til Vesturlanda og hafði þar mikil áhrif eins og áður hefur komið fram. Öldum saman var hinn íslamski menningarheimur í fararbroddi framfara í vísindum. Margir spyrja sig hvað breyttist, sem varð þess valdandi að þeir misstu þetta leiðtogahlutverk, og gera þá ráð fyrir að eitthvað hafi verið gert rangt sem rétt var gert á Vesturlöndum nútímans (Lewis, 2002). Eflaust eru margar skýringar á hnignun vísindastarfs innan íslamska menningarheimsins. Ein er líklegast sú að áhrif hinna frjálslyndu mótazílíta minnkuðu og bókstafstrú jókst. Það er þó ekki markmiðið hér að fjalla um þetta heldur frekar að benda á

Það sem var vel heppnað. Smám saman færðist miðja vísindastarfs vestar, endurreisnartímabilið hófst og vísindabyltingin fylgdi í kjölfarið. Ég held því fram hér að þar hafi verið byggt á grunni sem rekja má til vísindamanna Austurlanda nær á miðöldum.

Markmið mitt hér hefur verið að reyna að sannfæra lesandann um hve umfangsmikið vísindastarfið var innan Arabaheimsins á miðöldum, hversu frumlegar margar hugmyndir vísindamannanna voru og hve miklu þetta starf skipti fyrir framhaldið. Ég hef að mestu einblínt á þekkingarfræði og sálfræði en þessir vísindamenn gerðu merkar uppgötvanir á ýmsum öðrum sviðum. Í þessu yfirliti hef ég reynt að benda á að ósanngjarnt er að líta á framlag arabískra og íslamskra vísindamanna á miðöldum sem einhvers konar neðanmálsgrein í vísindasögunni.

Cognitive psychology and vision science in the medieval Islamic world

Aristotle claimed that man valued the sense of sight over the other senses. Visual perception has received a lot of attention throughout the history of science. Johannes Kepler's pioneering work is often mentioned as the starting point for such research. But this narrative neglects the considerable contributions of scientists working within Islamic states in medieval times. These Islamic scientists did not only translate and preserve the work of the ancient Greeks but made many adjustments and clarifications. Most importantly, they also made their own discoveries. Scientists such as Ibn-Ishaq, Al-Kindí, Avicenna and in particular Alhazen made many important discoveries in visual perception and cognitive psychology and had a large influence on the scientists of the renaissance, including Kepler. Alhazen's *Book of Optics* is undoubtedly one of the greatest books on visual perception ever published. Alhazen introduced how light from the sun is reflected throughout the environment and enters the eye. Kepler's well-known solution to the mystery of the retinal image owes a considerable debt to Alhazens work through the influence of western scientists who preceded Kepler and had access to Alhazens work.

Keywords: *History of psychology, Islamic psychology, Perception*

Árni Kristjánsson, Professor at Research Institute of Vision Science, Faculty of Psychology, School of Health Sciences, University of Iceland, Oddi by Sturlugata, Reykjavík, Iceland, and National Research University, Higher School of Economics, Moscow, Russia. Email: ak@hi.is

Heimildir

- Adamson, P. (2007). *Al-Kindi*. Oxford: Oxford University Press.
- Akdogan, C. (1984). Avicenna and Albert's refutation of the extramission theory of vision. *Islamic Studies*, 23(3), 151–157.
- Al-Khalihli, J. (2010). *The House of wisdom: How Arabic science saved ancient knowledge and gave us the renaissance*. New York: Penguin Books.
- Al-Nadim, M. (1987/1998). *The Fihrist: A 10th century AD survey of Islamic culture* (ensk þýðing: B. Dodge). Chicago: Kazi publications.
- Aristóteles. (1999). *Frumspekin I*. (islensk þýðing: Svavar Hrafn Svavarsson). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Aristóteles. (1985). *Um sálina* (islensk þýðing: Sigurjón Björnsson). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Averrós, *Long commentary on the De anima* (ensk þýðing: Arthur Hyman). Í A. Hyman og J. J. Walsh (ritstjórar), *Philosophy in the middle ages: The Christian, Islamic, and Jewish traditions* (bls. 304–323). New York: Harper and Row, 1967.
- Azmi, K. (1996). Hunain bin Ishaq on ophthalmic surgery. *Bulletin of the Indian Institute of History of Medicine* 26, 69–74.
- Árni Kristjánsson. (2012). *Innra augað*. Reykjavík: Háskólaútgáfan.
- Árni Kristjánsson. (2018). Fyrsti skynjunarsálfræðingurinn? Skynjunarsálfræði og hugfræði í Bók um ljósfræði eftir Ibn al-Haytham (Alhazen). *Sálfræðiritið*, 15, 19–33.
- Boring, E. G. (1942). *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. New York: D. Appleton-Century Companion.
- Boruch, R. F. (1984). Ideas about social research, evaluation, and statistics in medieval Arabic literature: Ibn Khaldun and Al-Biruni. *Evaluation Review*, 8(6), 823–842.
- Brown, D. J. (2001). Aquinas' missing flying man. *Sophia*, 40(1), 17–31.
- Burkert, W. (1977). Air-imprints or eidola: Democritus' aetiology of vision. *Illinois Classical Studies*, 2, 97–109.
- Descartes (1637/1991). Orðræða um aðferð (islensk þýðing: Magnús G. Jónsson). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Eastwood, B.S. (1979). Al-Fārābī on extramission, intromission, and the use of Platonic visual theory. *Isis*, 70(3), 423–425.
- Eastwood, B. S. (1982). The elements of vision: The micro-cosmology of Galenic visual theory according to Hunyan Ibn Ishaq. *Transactions of the American Philosophical Society*, 72(5), 1–59.
- El-Bizri, N. (2005). A philosophical perspective on Alhazen's optics. *Arabic Sciences and Philosophy*, 15(2), 189–218.
- Fakhry, M. (2004). *A history of Islamic philosophy*. New York: Columbia University Press.
- Gal, O. og Chen-Morris, R. (2013). *Baroque science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Gilchrist, A. (1996). The deeper lesson of Alhazen. *Perception*, 25, 1133–1136.
- Hatfield, G. C. og Epstein, W. (1979). The sensory core and the medieval foundations of early modern perceptual theory. *Isis*, 70(3), 363–384.
- Hasse, D. N. (2000). *Avicenna's De anima in the Latin West: The formation of a peripatetic philosophy of the soul 1160–1300*. London: The Warburg Institute.
- Helmholtz, H. von. (1925). *Helmholtz's treatise on physiological optics* (III. bindi) (ensk þýðing: J. P. C. Southall). New York: The Optical Society of America.
- Hume, D. (1998). *Rannsókn á skilningsgáfunni ásamt ævisögu höfundar* (islensk þýðing: Atli Harðarson). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Ibn Al-Haytham [Alhazen]. (1989). *Book of optics* (ensk þýðing: A. I. Sabra). London: The Warburg Institute.
- Ivry, A. L. (1966). Averroes on intellection and conjunction. *Journal of the American Oriental Society*, 86(2), 76–85.
- Ivry, A. L. (1995). Averroes' middle and long commentaries on the De anima. *Arabic Sciences and Philosophy*, 5(1), 75–92.
- Ivry, A. L. (2008). The ontological entailments of Averroes' understanding of perception. Í S. Sknuutila og P. Kärkkäinen (ritstjóri), *Theories of perception in medieval and early modern philosophy* (bls. 73–86). Amsterdam: Springer.
- Kaukua, J. (2014). Avicenna on the soul's activity in perception. Í J. F. Silva og M. J. Yrjönsuuri (ritstjórar), *Active perception in the history of philosophy: From Plato to modern philosophy* (bls. 99–116). Heidelberg: Springer.
- Kepler, J. (2000). *Optics* (ensk þýðing: W. H. Donahue). Santa Fe, New Mexico: Green Lion Press.
- Khan, S. A. (2016a). Medieval Arab contributions to optics. *Digest of Middle East Studies*, 25(1), 19–35.

- Khan, S. A. (2016b). Medieval Arab understanding and the rainbow formation. *Europhysics News*, 37(3), 10.
- Kheirandish, E. (2009). Footprints of „experiment“ in early Arabic optics. *Early Science and Medicine*, 14(1), 79–104.
- Kwan, A., Dudley, J. og Lantz, E. (2002). Who really discovered Snell's law? *Physics World*, 15(4), 64.
- Lewis, B. (2002). *What went wrong?: The clash between Islam and modernity in the middle east*. New York: Oxford University Press.
- Lindberg, D. C. (1971a). Alkindi's critique of Euclid's theory of vision. *Isis*, 62(4), 469–489.
- Lindberg, D. C. (1971b) Lines of influence in thirteenth-century optics: Bacon, Witelo, and Pecham. *Speculum*, 46(1), 66–83.
- Lindberg, D. C. (1976). *Theories of vision from Al-Kindi to Kepler*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lindberg, D. C. (1978). The intromission-extramission controversy in islamic visual theory: Alkindi versus Avicenna. Í P. K. Machamer og R. Turnbull (ritstjórar), *Studies in perception: Interrelations in the history of philosophy and science* (bls. 137–159). Columbus, Ohio: Ohio State University Press.
- Marmura M. (1986). Avicenna's flying man in context. *The Monist*, 69(3), 383–395.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Matthews, G. B. (1978). A medieval theory of vision. Í P. K. Machamer og R. Turnbull (ritstjórar), *Studies in perception: Interrelations in the history of philosophy and science* (bls. 186–199). Columbus, Ohio: Ohio State University Press.
- Maziak, W. (2005). Science in the Arab world: Vision of glories beyond. *Science*, 308(5727), 1416–1418.
- McGinnis, J. (2010). *Avicenna*. Oxford: Oxford University Press.
- Middleton, W. K. (1961). Archimedes, Kircher, Buffon, and the burning-mirrors. *Isis*, 52(4), 533–543.
- Newton, I. (1730/1979). *Optics, or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light*. Chelmsford, Massachusetts: Courier Corporation.
- Oon, P. T. og Subramaniam, R. (2009). The nature of light: I. A historical survey up to the pre-Planck era and implications for teaching. *Physics Education*, 44(4), 384.
- Parker, A. (2005). *Seven deadly colours: The genius of nature's palette and how it eluded Darwin*. London: The Free Press.
- Platón. (1961). *Collected dialogues*. Ritsj. E. Hamilton og H. Cairns. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Platón. (1993). *Menón* (íslensk þýðing: Sveinbjörn Egilsson). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Putnam, H. (1991). *Reason, truth and history*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rashed, R. (1990). A pioneer in anaclastics: Ibn Sahl on burning mirrors and lenses. *Isis*, 81(3), 464–491.
- Reid, T. (1764/1997). *An inquiry into the human mind: On the principles of common sense*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Robinson, D. N. (1989). *Aristotle's psychology*. New York: Columbia University Press.
- Rock, I. (1983). *The logic of perception*. Cambridge: The MIT Press.
- Ronchi, V. (1970). *The nature of light: An historical survey*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Sabra, A. I. (1978). Sensation and inference in Alhazen's theory of visual perception. Í P. K. Machamer og R. Turnbull (ritstjórar), *Studies in perception: Interrelations in the history of philosophy and science* (bls. 160–185). Columbus, Ohio: Ohio State University Press.
- Sabra, A. I. (1989). Introduction and Commentary. Í I. Al-Haytham, *Optics* (ensk þýðing: A. I. Sabra. London: The Warburg Institute og The University of London.
- Sabra, A. I. (2007). The „commentary“ that saved the text: The hazardous journey of Ibn al-Haytham's Arabic „optics“. *Early Science and Medicine*, 12(2), 117–133.
- Saliba, G. (2007). *Islamic science and the making of the European Renaissance*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Savage-Smith, E. (1995). Attitudes toward dissection in medieval Islam. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, 50(1), 67–110.
- Scott, S. P. (1994/2016). *History of the Moorish empire in Europe*. Wentworth: Wentworth publishers.
- Sedley, D. N. (1992). Empedocles' theory of vision and Theophrastus' De sensibus. Í w. w. Fortenbaugh og D. Gutas (ritstjórar), *Theophrastus: His psychological, doxographical and scientific writings* (bls.20–31). New York: Routledge.
- Siegel, R. E. (1970). *Galen on sense perception*. Basel, Sviss: Karger.
- Simms, D. L. (1977). Archimedes and the burning mirrors of Syracuse. *Technology and Culture*, 18(1), 1–24.

- Smith, A. M. (1992). Picturing the mind: The representation of thought in the middle Ages and Renaissance. *Philosophical Topics*, 20(2), 149–170.
- Smith, A. M. (1996). Ptolemy's theory of visual perception: An English translation of the „Optics“ with introduction and commentary. *Transactions of the American Philosophical Society*, 86(2).
- Smith, A. M. (1998). Ptolemy, Alhazen, and Kepler and the problem of optical images. *Arabic Sciences and Philosophy*, 8, 9–44.
- Smith, M. A. (1999). *Ptolemy and the foundations of ancient mathematical optics: A source based guided study*. Philadelphia, Pennsylvania: American Philosophical Society.
- Smith, A. M. (2001). Introduction. Í A.M. Smith (ritstj.) *Alhacen's theory of visual perception* (bls. xv–cliv). Philadelphia, Pennsylvania: American Philosophical Society.
- Smith, A. M. (2004). What is the history of medieval optics really about? *Proceedings of the American Philosophical Society*, 148(2), 180–194.
- Straker, S. (1981). Kepler, Tycho, and the ‘optical part of astronomy’: The genesis of Kepler's theory of pinhole images. *Archive for History of Exact Sciences*, 24(4), 267–293.
- Toivanen, J. (2015). Fate of the flying man: Medieval reception of Avicenna's thought experiment. *Oxford Studies in Medieval Philosophy*, 3, 64–98.
- Topdemir, H. G. (2007). Kamal Al-Din Al-Farisi's explanation of the rainbow. *Humanity and Social Sciences Journal*, 2(1), 75–85.
- Turner, H. R. (1995). *Science in medieval Islam: An illustrated introduction*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- Unal, N. og Elcioglu, O. (2009). Anatomy of the eye from the view of Ibn Al-Haitham (965–1039). *Saudi Medical Journal*, 30(3), 323–328.
- Van Hoorn, W. (1972). *Ancient and modern theories of visual perception*. Amsterdam: University Press Amsterdam.
- Virk, Z. (2003). Europe's debt to the Islamic world. *Review of Religions*, 98, 36–52.
- Wade, N. J. og Finger, S. (2001). The eye as an optical instrument: From camera obscura to Helmholtz's perspective. *Perception*, 30(10), 1157–1177.
- Wade, N. (1999). *A natural history of vision*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.