

Fyrsti skynjunarsálfræðingurinn?

Skynjunarsálfræði og hugfræði í Bók um ljósfræði eftir Ibn al-Haytham (Alhazen)

Árni Kristjánsson
Heilbrigðisvísindasvið, Háskóli Íslands

Við lestur rita um hugmynda- og vísindasöguna mætti halda að fáar merkar vísindauppgötvánir hafi verið gerðar frá tímum forngrískra heimspekinga fram til endurreisnarskeiðsins og vísindabyltingarinnar sem fylgdi í kjölfarið. Hið sama á gjarnan við þegar fjallað er um skynjunarsálfræði og hugfræði. Lítið er fjallað um framlag merkra vísindamanna í Arabaheiminum á miðöldum til þeirra vísinda. Hér verður sjónum beint að merkjum rannsóknum og uppgötvunum Ibn Al-Haythams, eða Alhazens á latínu, (965–1040) sem hann skýrði frá í Bók um ljósfræði. Hugmyndir Alhazens eru ótrúlega nútímalegar og verður vart til jafnað fyrr en á 19. og 20. öld. Ein grundvallarhugmyndanna í nútímaskynjunarsálfræði er að heilinn skapi mynd af heiminum með túlkun áreita sem berast skynfærunum. Alhazen hélt þessari hugmynd fram í Bók um ljósfræði og gætu margar hugmynda hans verið teknar úr sálfræðibókum nútímans. En hann gekk lengra og lagði til margar hugmyndir um úrvinnslu sjónáreita, svo sem hugmyndir um skiptingu í skynhrif og skynjun, kenningar um sniðmát í hlutaskynjun, hlutverk minnis í sjónskynjun, skynjun þriðju víddarinnar og mikilvægi athygli fyrir sjónskynjun. Hér er fjallað um þessar kenningar Alhazens og þær tengdar við nútímahugmyndir í skynjunarsálfræði og hugfræði. Uppgötvánir Alhazens eru lítt þekktar og eiga að skipa þann sess sem þeim ber í sögu sálfræðinnar.

Efnisorð: Alhazen, Saga Sálfræðinnar, Íslömsk Sálfræði, Skynjunarvísindi.

Við lifum tíma þar sem Íslam á undir högg að sækja. Jafnvel heyrir stundum talað um að íslamskar þjóðir séu á „miðaldastigi“. Þetta er kaldhæðnislegt í ljósi sögunnar. Þeir sem svona tala líta, sem dæmi, fram hjá trúarofsa krossfara miðalda sem réðust fyrir um 1000 árum með offorsi á tiltölulega friðsöm ríki múslíma til að frelsa landið helga. Sannleikurinn er sá að menningarstig íslamskra þjóða var um langa hríð mun hærra en Vesturlanda og á tímabilinu frá því um 600 þar til um 1200 var unnið afar merkilegt vísindastarf í tiltölulega friðsömum íslömskum kalífadæmum í Miðausturlöndum þar sem vísindamenn, sem tilheyrðu ólíkum trúarbrögðum, unnu saman í bróðerni (Al-Khalili, 2010; Lewis, 2010; Saliba, 2009; Turner, 1995). Þetta vísindastarf lagði grundvöllinn að endurreisnartímabilinu í Evrópu, sem hófst nokkrum öldum síðar, og þar með að vísindabyltingunni sem fylgdi í kjölfarið (Andri Steinþór Björnsson, 2004; Saliba, 2007).

Kannski er þekktasta dæmið um þetta vísindastarf *Hús* vísdomsins sem var vísindasetur í

Bagdað, sett á stofn kringum árið 800 eftir Krist af hinum framsýna kalífa, Harún Al-Rasjíd sem tilheyrði Abbasid-kalífadæminu (Al-Khalili, 2010). Þar blómstraði vísinda- og rannsóknarstarf og einnig fór þar fram umfangsmikið þýðingarstarf á ritum forngrískra heimspekinga yfir á arabísku sem gegndi mikilvægu hlutverki í að varðveita þessi rit. Jafnframt má finna á þessum svæðum elstu háskóla heims, sem enn eru starfandi, svo sem Al-Karaouine-háskólann í Fez í Marokkó, og Al-Ashar-háskólann í Kaíró sem báðir voru stofnaðir á þessu blómaskeiði.

Saga sálfræðinnar er í kennslubókum oft sögð í nokkrum skrefum. Sagt er frá forngrísku heimspekingunum og sérstök áhersla lögð á hugmyndir heimspekinga eins og Platóns og Aristótelesar se, uppi voru á 3. öld fyrir krist. Síðan er gjarnan stokkið nærri tvö þúsund ár fram á við og fjallað

Árni Kristjánsson, Prófessor í Sjónskynjunarvísindum, Sálfræðideild, Heilbrigðisvísindasvið, Oddi við Sturlugötu, Reykjavík. Netfang: ak@hi.is

um kenningar um meðfæddar hugmyndir í anda rökhyggjumanna eins og René Descartes og Gottfried Leibniz og slíkar kenningar bornar saman við andstæðar hugmyndir reynsluhyggjumanna á borð við John Locke, David Hume og George Berkeley biskup. Svo er fjallað um eins konar samþættingu þessara hugmynda í kenningum Immanúels Kant. Síðast eru kynntar til sögunnar nútímahugmyndir sem eru í flestum tilfellum blanda reynsluhyggju og erfðahyggju.

En þarna vantar oftast umfjöllun um framlag vísindamanna miðalda til hugmynda-sögunnar og þá sérstaklega framlag vísindamanna í Arabaheiminum á miðöldum, og þótt í kennslubókum sé fjallað um þetta vísindastarf (Robinson, 1986; Shiraev, 2011) er það oft gert á yfirborðskenndan hátt og oftast lögð áhersla á að vísindamenn miðalda í Arabaríkjunum hafi helst gegnt því hlutverki að þýða rit forngrísku heimspekinganna yfir á arabísku og þar með varðveita þau fyrir vísindamenn seinni tíma. Rétt er að arabískir vísindamenn unnu mikilvægt starf með því að varðveita þessa þekkingu en þeirra eigið framlag til hugmyndasögunnar gleymist gjarnan (Lindberg, 1971a; Saliba, 2007).

Skynjunarvísindi og hugfræði í kenningum Alhazens

Þar til nýlega hefur lítið verið fjallað um framlag vísindamanna í Austurlöndum nær á miðöldum í sögu skynjunarvísinda og hugfræði (Gilchrist, 1996; Howard, 1996; Sabra, 1989). Því er ekki er úr vegi, einmitt nú, að líta á framlag vísindamanna innan Arabaheimsins til skynjunarsálfræði og hugfræði, vísinda sem lúta að því að skilja ferlin sem búa að baki því hvernig við skynjum og skiljum heiminn og fela í sér spurningar sem innan heimspekinnar falla undir hatt þekkingarfræðinnar. En markmið mitt er enn þrengra: að beina athyglinni að vísindamanni sem ef til vill mætti kalla fyrsta skynjunarsálfræðinginn og hugfræðinginn. Hér á ég við Ibn Al-Haytham (965-1039 sem kallaður er Alhazen á latínu). Alhazen var að öllum

líkindum fyrstur til að velta með skipulögðum hætti fyrir sér ýmsum lykilsurningum varðandi sálfræði sjónskynjunar og eru hugmyndir hans um sjónskynjun ótrúlega frumlegar og falla vel að því sem nú er vitað um hvernig sjónskynjun virkar og þá sérstaklega hvað varðar úrvinnslu hugarins á sjónáreitum (Árni Kristjánsson, 2012).

Eftir Alhazen liggja að minnsta kosti 100 fræðirit en merkast er án efa *Bók um ljósfræði* (heitir *Kitab al-Manazir* á arabísku) (Al-Haytham, 1989) sem hann skrifaði í Kairó við Al-Azhar-háskólann á fyrri hluta 11. aldar, og þýdd var á latínu um 1270 (Smith, 2001; Unal og Ekioglu, 2009)¹. Hugmyndir Alhazens í þessari bók höfðu mikil áhrif á sporgöngumenn hans eins og Jóhannes Kepler, Galileo Galilei og Isaac Newton (Lindbergh, 1971b, 1986). Í bókinni leggur Alhazen grunn að nútímaljósfræði en í bókinni má jafnframt finna líklega fyrstu nákvæmu líffæra- og lífeðlisfræðilegu lýsinguna á auganu (Sabra, 1978). Frá sjónarhóli skynjunarsálfræði og hugfræði felst merkasta framlag Alhazens í að hann áttaði sig á því að til að útskýra sjónskynjun þyrfti að skilja hvernig hugurinn vinnur úr þeim áreitum sem berast okkur um augun.

En Alhazen gekk mun lengra í *Bók um ljósfræði* og kynnti til sögunnar hugfræðikenningar sem við getum ekki annað en dáðst að þegar við lesum þær um 1000 árum síðar. Frá sjónarhóli sálfræði og þekkingarfræði er rétt að geta bókarinnar í sömu andrá og *Um Sálina* eftir Aristóteles og *Gagnrýni hreinnar skynsemi* eftir Kant til þess að öðlast einhvern samanburð. En þótt margir þekki grundvallarkenningu Alhazens um sjónskynjun eru merkar kenningar hans um sálfræði sjónskynjunar og um úrvinnslu þeirra upplýsinga sem berast með sjóninni sem þó má finna í sömu bók, afar lítið þekktar. Athyglisvert er hversu lengi þær hafa legið í þagnargildi. Raunar hafa margar uppgötvanir, sem þar má finna, verið eignaðar öðrum (sjá t.d. Gorini, 2003; Howard, 1996).

Kjarninn að baki hugmyndum Alhazens er að

¹ Hér er að mestu vísað til þýðingar Abdelhamid I. Sabra frá 1989 úr arabísku yfir á ensku, en einnig er stuðst við enska þýðingu A.M. Smiths á latnesku útgáfu bókarinnar frá árinu 2001. Vísað er í bókarhluta eftir því númerakerfi sem Alhazen notaði sjálfur í bókinni.

hann gerði grein fyrir því hvernig ljósið gæti borist inn í augað og síðan að ljósnæmum svæðum þar sem unnt væri að vinna úr upplýsingunum. Þessi spurning hafði lengi vafist fyrir Forngríkkjum og forgöngumönnum Alhazens innan íslamska vísindasamfélagsins, eins og Ishaq Al-Kindí (801–873) og Avicenna (980–1037) (Adamson, 2007; Kaukua, 2014; Lindberg, 1978; McGinnis, 2010). Í *Bók um ljósfræði* skýrði Alhazen hvernig sjónræn úrvinnsla á því ljósi, sem berst inn um augun, ræður því hvernig við skynjum – og þar með skiljum – heiminn. Í þessu felst merkasta framlag Alhazens til skynjunarvísindanna.

Alhazen varð ekki fyrstur til þess að átta sig á að frekari úrvinnsla væri þörf á þeim upplýsingum er berast skynfærunum. Sem dæmi má taka að Aristóteles hafði fjallað um slíka úrvinnslu í ritinu *Um sálina* (Aristóteles, 1985) og skýr dæmi um þetta má finna í skrifum Platóns, t.d. í samræðunni, *Þætetosi*, (Platón, 2004) og í *Ríkinu* (Platón, 1997). En hugmyndir Alhazens um þessi ferli standa einfaldlega mun framar hugmyndum þeirra sem á undan höfðu komið, og eru í mun betra samræmi við það sem nú er þekkt um hvernig sjónkerfi okkar og heili vinna. Alhazen hefur verið kallaður mestur sjónvísindamaður fram að Jóhannesi Kepler og verðugur arftaki Arkímedesar (Winter, 1953). Margt er til í því en á margan hátt er framlag Alhazens merkara en Keplers, sérstaklega þegar litið er til sálfræði skynjunarinnar. Kepler eftirlét náttúruvísindamönnum að fást við sálfræði skynjunar eins og segir í frægri setningu í *Ljósfræði* hans (Kepler, 2000). Alhazen réðst hins vegar til atlögu við þá spurningu af alefli.

Einnig er rétt að geta þess að Alhazen var á flestan hátt afar nútímalegur vísindamaður (Kheirandish, 2009). Sex hundruð árum fyrir tíma Galíleós reiddi hann sig á tilraunir til upplýsingaöflunar, gerði meira að segja sáeðlisfræðilegar tilraunir (Gilchrist, 1996). Raunar var slíkt tilraunastarf algengt meðal arabískra vísindamanna á miðöldum (Kheirandish, 2009). Alhazen sagði sjálfur (þýðing höfundar):

Við skulum leita sannleikans og ekki láta skoðanir stjórna því hvernig við skiljum

heiminn. Við leitum sannleikans með skipulegri röksemdafærslu þar sem tekið er eitt skref í einu.

Alhazen beitti þessari aðferð í *Bók um ljósfræði* þar sem hann leitaðist sífellt við að færa rök fyrir máli sínu með sýnidæmum og tilraunum og hafði áhrif á marga sporgöngumenn, eins og Kepler, Descartes og fleiri (Lindbergh, 1971b).

Útgeislun eða inngeslun ljóss

Ein af meginspurningunum, sem Alhazen réðst til atlögu við í *Kitab Al-Manazir*, er vel þekkt innan þekkingarfræðinnar: Hvað gerir okkur kleift að sjá? Nær allar fornaldarkenningar gerðu ráð fyrir að til að sjónskynjun ætti sér stað þyrfti eitthvað efnislegt að bærast á milli skynjandans og hlutarins sem hann skynjar (Lindbergh, 1976; Smith, 1996; van Hoorn, 1972). Margir heimspekingar fornaldar og jafnvel fram á miðaldir héldu því fram að augað gæfi frá sér ljós – lýsti upp umhverfið – líkt því að við gengjum um með vasaljós á höfðinu (raunar var notuð líking um að það væri sem við bærum kyndil). Slíkar kenningar mætti kalla útgeislunarkenningar (e. *extramission*) og taldi heimspekingurinn Empedókles (á 4. öld f.Kr.) að ástargyðjan Afródíta hefði kveikt þennan eld í augum okkar². Sem dæmi má nefna afar áhrifamikla kenningu Evklíðs frá um 300 f.Kr. (Lindberg, 1971a; Van Hoorn, 1972). Evklíð setti fram nákvæma hornafræðilega og rúmfræðilega útleggingu á því hvernig útgeislunarkenningar af þessu tagi gætu virkað og virðist raunar hafa haft lítinn áhuga á sálfræðilegum og líffræðilegum þáttum sjónskynjunar.

Einn meginútgangspunktur Alhazens í *Bók um ljósfræði* var útgeislunarkenning Ptólemajosar (frá um 175 e.Kr.), sem var undir miklum áhrifum frá Evklíð (Smith, 1996). Kenningar Ptólemajosar og Evklíðs gera skilmerkilega grein fyrir hornafræði sjónskynjunar en sálfræðilega valda þær vandræðum, fyrst og fremst vegna þess að þær eru útgeislunarkenningar. Raunar er sennilegt að Ptólemajos hafi sjálfur gert sér grein fyrir þessum vanda en látið kyrrt liggja (Smith, 1996). Hinn merki frumkvöðull í læknavísindum og sálfræði,

2 Ótrúlega margir trúa því enn í dag að augu okkar gefi frá sér ljós (Winer, Cottrell, Gregg, Fournier, & Bica, 2002).

Galen frá Bergamó (129–216), setti síðan fram samvirknikenningu í anda gríska heimspekingsins Platóns þar sem gert er ráð fyrir því að geislar frá auganu blandist ljósgeislunum í umhverfinu sem síðan geri okkur kleift að sjá (Lindbergh, 1971b). Eina þekkt heimildin um sjónskynjunarkenningu Ptólemajosar er einmitt arabísk þýðing frá 12. öld (Sabra, 1966; Smith, 1996).

En til hvers má rekja hugmyndir um útgeislun? Af hverju héldu forverar Alhazens svona fast í kenningu sem hlýtur að hafa verið ljóst að fól í sér ýmsa galla? Ástæðan er líklegast fyrst og fremst sú að Forngríkkir (og margir sem fylgdu í kjölfarið) gerðu sér ekki grein fyrir að augað gæti varpað ímynd af umhverfinu á eitthvert yfirborð, eins og til dæmis sjónbotn (Crombie, 1990) og gerðu sér því í raun ekki grein fyrir öðrum sennilegri valkostum. Jafnframt höfðu Forngríkkir ekki góða þekkingu á eðli ljóss (og var það raunar eitt fjölmargra vandamála sem Alhazen leysti í *Bók um ljósfræði*). Kenningin, sem forverar Alhazens sáu sem andstæðuna við útgeislun, var inngeislun svokallaðra forma hlutanna eða ímynda þeirra sem kenndar eru við *Eidola*-kenningu Epikúrosar og annarra atómista fornaldar eins og Demókrítosar (Annas, 1994; Lee, 1978). Samkvæmt Epikúrosi streyma eindir (eins konar ímyndir eða eftirmyndir sem hann kallaði „eidola“) af yfirborðum hlutanna og hafa þessar eindir form þeirra (Árni Kristjánsson, 2012). Þykkt þessara einda var talin vera jöfn einu atómi og berast þær auganu samkvæmt kenningunni (Smith, 1996). Þegar fjallað er um kenningar þar sem gert er ráð fyrir inngeislun ímynda (eidola) er horna- og rúmfræðileg greining á eðli ljósgeisla málinu hreinlega óviðkomandi því að spurningin um skynjun snýst þá um hvernig þessar ímyndir geta borist auganu (sjá Crombie, 1990).

Sem dæmi má nefna að Al-Kindí (801–873) hélt því fram að ef sjónskynjun ætti sér stað gegnum inngeislun forma, hlýti hringur, sem horft er á frá hlið þannig að myndin, sem varpast að auganu, er einungis bein lína, að skynjast sem hringur vegna þess að *form* hans berst sjónum okkar (Adamson, 2007; Lindberg, 1971a). Þetta fannst Al-Kindí

fráleitt og taldi þetta því vera rök gegn inngeislun og þar með fyrir útgeislunarkenningu. Samtímamaður Al-Kindis, Hunain Ibn-Ishaq (809–873), velti fyrir sér hvernig slíkar ímyndir gætu ferðast til svo margra samtímis þegar margir skynjendur horfa á sama hlutinn (Eastwood, 1982). Af þessum sökum fundust honum inngeislunarkenningar fráleitar.

Þegar Al-Kindi og Ibn-Ishaq höfnuðu inngeislunarkenningum voru þeir því að hafna kenningum um inngeislun ímynda (Lindberg, 1976; van Hoorn, 1972) en ekki nútíma-hugmyndum um hvernig ljós berst inn í augað. Slíkar kenningar krefjast þekkingar á eðli ljóss, þekkingar sem þeir bjuggu ekki yfir. Sennileg kenning lá einfaldlega ekki fyrir því að þekking á eðli augans og ljósfræði dugði einfaldlega ekki til þess (Lindberg, 1976).

Þó að mikilvægasta framlag Alhazens til þessarar umræðu hafi verið að benda á annan sennilegan valkost við útgeislunarkenningar tíndi hann einnig til mörg góð og gild gagnrök gegn útgeislunarkenningum. Til dæmis spurði hann af hverju við sjáum ekki í myrkri ef ljósið berst frá okkur sjálfum. Hann velti einnig fyrir sér hvers vegna það sé sársaukafullt að horfa í bjart ljós. Jafnframt benti hann á að þegar mjör ljósgeisli berst inn um lítið gat inn í myrkvað herbergi sjáum við aðeins geislann og það sem hann lýsir upp sem kemur illa heim og saman við að ljósið komi frá okkur sjálfum. Alhazen benti einnig á að við sjáum fjarlægjar stjörnur um leið og við opnum augun þó að ljósið þurfi að berast að og frá stjörnunum samkvæmt útgeislunarkenningum.³ Hann velti einnig fyrir sér af hverju við sjáum eftirmyndir þegar við höfum horft í bjart ljós og taldi það illa samræmast útgeislunarkenningum. Og eins og samtímamaður hans, Avicenna, velti Alhazen því fyrir sér að fyrst við sjáum gegnum vatn, sem hefur tiltekið efnismagn, hvers vegna efnismagn vatnsins ykist ekki og yfirborð þess hækki, sem því nemi, þegar ljósið frá augum okkar fari í gegnum það?

En að blindast af ljósi, að meiða sig vegna af mikils ljóss eða eftirmyndir ljóss afsanna ekki beinlínis útgeislunarkenningar og felst mun

3 Raunar var þetta einu sinni talið vera rök fyrir því að ljósið frá augum okkar ferðaðist óendanlega hratt því að annars ætti að líða einhver tími frá því að við opnum augun þar til við sjáum fjarlægjar stjörnur!

mikilvægara framlag í öðrum meginþáttum kenningar Alhazens. Í fyrsta lagi hélt hann því fram að óþarfi væri að gera ráð fyrir að ljósið þurfi að ferðast frá augum, þar sem það þarf hvort eð er að útskýra hvernig ljósið berst auganu. Hann hafnaði því útgeislunarkenningunni meðal annars út frá því sem síðar var kallað „rakhnífur Occams“, að einfaldasta skýringin væri að öðru jöfnu sú betri því að inngeislun væri þegar falin í útgeislunarkenningunni. Ómögulegt er að ímynda sér sjónskynjun án þess að eitthvað berist auganu og – þá í tilfelli útgeislunarkenninga – geislarnir frá auganu sem berast því aftur. Alhazen hafnaði því útgeislun vegna þess að hún er einfaldlega óþörf! Hann hafnaði jafnframt samvirknikenningum í anda Platóns og Galens á sömu forsendu⁴.

Í öðru lagi, og í því felst hans helsta framlag, setti Alhazen fram kenningu um sjónskynjun þar sem meðal annars er gerð skýr grein fyrir því hvernig inngeislun verkar og þar með sennilegan valkost við útgeislunarkenningar. Alhazen var því ekki fylgismaður Aristótelesar, Evklíðs og Ptólemajosar eða Galens. Hann setti fram sína eigin kenningu um sjónskynjun og sýndi fram á hvernig ljós getur borist inn í augað.

Sjónskynjunarkenning Alhazens

Eins og áður sagði er meginrit Alhazens hin þriggja binda *Bók um ljósfræði* (Kitab al-Manazir). Engum sem les skrif Alhazens dylst hversu frumleg og framsýn skrif hans um sjónskynjun eru í þeirri bók. Þar sýndi Alhazen fram á hvernig ljós berst inn í augað og lagði þar með grunn að lausn Keplers á gátunni um hvernig augað endurvarpar ímynd af heiminum á sjónbotn augans (Howard, 1996; Lindberg, 1976; van Hoorn, 1972).

Alhazen dáðist að stærðfræðilegri nákvæmni kenninga Evklíðs og Ptólemajosar enda ganga útgeislunarkenningar vel upp stærðfræðilega. En Alhazen benti á að útgeislunarkenningar falli á öðrum prófum, þá fyrst og fremst þegar kemur að því að útskýra sálfræði sjónskynjunar. Hann lagði mikla áherslu á að skilja þyrfti að umfjöllun

um eðli ljóssins og eðli hugarstarfs sem lýtur að skynjun (Sabra, 1989). Því var mikilvægt fyrir Alhazen að sýna fram á að stærðfræðilega gengju inngeislunarkenningar upp.

Það má segja að Alhazen hafi einfaldlega snúið útgeislunarkenningu Evklíðs og Ptólemajosar á haus. Evklíð sá fyrir sér að geislarnir ferðuðust frá auganu og mynduðu keilu þar sem breiðari endi keilunnar færi sífellt stækkandi eftir því sem fjær drægi auganu. Alhazen sneri keilunni við og þannig gekk stærðfræðilega nákvæm kenning Evklíðs upp þótt gert væri ráð fyrir að ljósið bærast auganu frá umhverfinu. Með því að sýna fram á að hornafræðilega gengju inngeislunarkenningar upp og halda því fram að ljósgeislar bærast auganu frá umhverfinu gat Alhazen hafnað mótörkum gegn inngeislun, svo sem varðandi inngeislun forma (eða *eidola*) því að hann hafði sýnt fram á annan möguleika – hvernig ljósgeislarnir gætu borist ljósnæmum svæðum í auganu. Alhazen sagði (þýðing höfundar):

Ljósið frá hlutum, sem gefa frá sér ljós,⁵ varpast á sérhvern hlut andspænis honum ef ekkert ógagnsætt efni er á milli þeirra. Þegar sólin er andspænis hlut og ekkert er í veginum varpast ljós frá sólinni á hlutinn og hið sama má segja um alla hluti á jörðu sem eru andspænis sólinni á þennan hátt [...] jafnframt varpast allir geislarnir í beinni línu, og ekkert ljós varpast frá hlutum nema í beinni línu [...] augað nemur ljós og liti á yfirborði sjáanlegra hluta einungis í gegnum það form ljóssins og litanna sem berst frá hlutum að auganu í gegnum hið gagnsæja efni [...] í beinni línu.

(Al-Haytham, 1989, I.I. 3 og 8; I.6, 60).

Kjarninn í sjónskynjunarkenningu Alhazens⁶ er að hann gerði ráð fyrir að sérhver punktur á yfirborðinu endurvarpaði ljósgeisla (hugmynd

4 Avicenna, samtímamaður Alhazens, hafði áður haldið fram svipaðri skoðun en hann setti hana ekki í samræmi við heildræna kenningu um sjónskynjun eins og Alhazen gerði.

5 Hér átti Alhazen við fyrirbæri eins og sólina og tunglið.

6 Alhazen lýsir þessari grunnkenningu í fyrsta hluta *Bókar um ljósfræði* (Al-Haytham, 1989).

sem Al-Kindi hafði áður sett fram) (Crombie, 1990). Hann hélt því jafnframt fram að augað taki ekki bara við upplýsingum, sem bera í sér líkindi við hlutina (t.d. eidola-kenning), heldur væri augað sjóntæki sem *býr til ímyndir* af hlutunum í umhverfinu. Þessi hugmynd kviknaði í kjölfar tilrauna sem hann gerði með það sem síðar var kallað „Camera Obscura“ („dimmt herbergi“) þar sem eina ljósið, sem berst inn í herbergið, kemur í gegnum örlítið gat.⁷ Í tilraunum með „Camera Obscura“ tók Alhazen eftir því að tvær luktir á mismunandi stöðum vörpuðu tveimur geislum á mismunandi staði. Leiddi þessi uppgötvun honum fyrir sjónir hvernig ljósgeislar varpast og útilokaði þetta jafnframt að geislarnir gætu komið frá okkur sjálfum. Örmjóir geislar berast því auganu frá sérhverjum punkti í sjónsviðinu og það er því ekki fyrr en ljósið hefur borist auganu (og frekari úrvinnsla fer fram) sem sjónupplýsingar eru greindar að í mismunandi hluti.

Óumdeilt er að Alhazen varð fyrstur til þess að nota slíka „punkt-fyrir-punkt“-greiningu á umhverfinu (Sabra, 1989; Smith, 1990). Þannig berst ljósið ekki frá *heilum hlutum* heldur berast geislar frá hverjum punkti alveg óháð því hvaða hlut eða yfirborði í umhverfinu þeir tilheyra. Þegar þetta lá fyrir var ljóst að gallar, sem forverar Alhazens höfðu bent á varðandi inngeislunarkenninguna, yllu ekki þeim vanda sem þeir töldu.

Jafnframt taldi Alhazen að hver punktur í umhverfinu örvi mismunandi hluta hins næma yfirborðs innan augans og að hver hluti sjónmyndar örvi tiltekinn hluta sjónkerfisins og að þannig varðveitist staðfræðin í umhverfinu þegar kemur að úrvinnslu heilans á sjónupplýsingum. Þessi hugmynd Alhazens er í grundvallaratriðum rétt miðað við það sem nú er vitað, og þá sérstaklega þegar kemur að úrvinnslu á upplýsingum í meginsjónsvæðum heilans í rákaberki í hnakkablaði heilans (DeValois og DeValois, 1990).

Rannsóknir Alhazens á ljósi, sem berst inn í dimmt herbergi um lítið gægjugat, leiddu honum fyrir sjónir að augað gæti verkað á svipaðan

hátt. En þetta þýddi að myndin í auganu sneri öfugt en Alhazen gerði ráð fyrir að endurvarp innan augans rétti myndina við og fannst honum óhugsandi að hún sneri öfugt (Crombie, 1990). Það var Kepler sem leysti þessa gátu og sýndi hvernig augasteinninn brýtur ljósið og öfug mynd varpast því á sjónu. Hann benti á að sjónkerfið þyrfti einfaldlega að vinna úr upplýsingunum þó að þær sneru öfugt sem Kepler gerði ekki ráð fyrir að væri sérstakt vandamál. Jafnframt taldi Alhazen mikilvægt að gera ráð fyrir að geislar frá einum stað ættu sér samsvarandi stað á hinu næma yfirborði augans og hélt fram, líkt og Galen, að næma svæðið væri aftari hluti augasteinsins. Þarna var Alhazen farinn að nálgast hugmyndir um ljósbrotseiginleika augasteinsins þótt hann hafi ekki alveg giskað rétt og útskýrði Kepler þetta betur síðar. Þær uppgötvanir Keplers kröfðust betri þekkingar á því hvernig linsur endurvarpa ljósi og geta varpað mynd, sem kom síðar.

Einn af mikilverðustu þáttunum varðandi uppgötvanir Alhazens er því hvernig þær lögðu drög að réttri lausn Keplers á gátunni um hvernig endurvarp linsunnar skapar myndina sem varpast á sjónbotninn. Ljósfræði Alhazens var þýdd á latínu (Smith, 2001) og er ljóst að Kepler þekkti hugmyndir Alhazens, t.d. í gegnum skrif Johns Peckham, Rogers Bacon og Erasmus Vitello sem þýddi bók Alhazens og skrifaði ítarlegar athugasemdir um hana (sjá Lindberg, 1971b).

Í framhaldi af því að hafa sýnt fram á hvernig inngeislun ljóss gæti átt sér stað sneri Alhazen sér að því að rannsaka eðli úrvinnslunnar á upplýsingum sem berast inn um augað. Í þeim hugmyndum má kannski finna merkasta framlag Alhazens – altént frá sjónarhóli hugfræði og skynjunarsálfræði.

Alhazen áttaði sig á að hægt væri að skilja skynkerfið á tveimur mismunandi stigum, þ.e. út frá eðli ljóssins, sem lýtur horna-, rúm- og eðlisfræðilegum lögmálum, og út frá lífeðlisfræði augans og sálfræði skynjunar (Árni Kristjánsson, 2012; Parker, 2005; Sabra, 1978; Wade, 1999). Því er hægt að rannsaka skynjun án þess að setja fram

7 Uppgötvunin á „Camera Obscura“ er gjarnan eignuð Leonardo Da Vinci en ljóst er að Alhazen notaði slíkan búnað í sínu vísindastarfi.

eðlisfræði- og hornafræðilegar skýringar. Þarna kviknar jafnframt hugmyndin um að sjónskynjun snúist um að öðlast gagnlegar upplýsingar um sjónumhverfið frá ljósinu í kringum okkur en að markmiðið sé ekki endilega að ímyndin sé alveg rétt (Árni Kristjánsson, 2012). Það er áberandi hugmynd í nútíma kenningum að sjónskynjun snúist ekki um að gefa nákvæmlega til kynna hvað sé þarna úti, heldur sé markmiðið að við getum átt gagnleg samskipti við umhverfið sem gera okkur kleift að fæða okkur og klæða og koma genum okkar á framfæri.

Hugmyndinni um að það sem geri okkur kleift að sjá á þann hátt sem við gerum og að eiga gagnleg samskipti við umhverfið gegnum sjónskynjun sé úrvinnsla hugans er oft eignuð þýska 19. aldar vísindamanninum Hermann von Helmholtz en hennar sér óvída betri merki en í skrifum Alhazens⁸. Þessi hugmynd er þó enn eldri. Aristóteles talaði um það sem kannski mætti kalla samþættingarskynfæri í riti sínu *Um Sálina* (Aristóteles, 1985) og má skilja á orðum Aristótelesar að þar eigi hann við úrvinnslu hugans (Árni Kristjánsson, 2012). Alhazen var undir miklum áhrifum frá Aristótelesi og hann sagði í *Bók um ljósfræði* (Al-Haytham, 1989, II.3, 38; þýðing höfundar):

Það er í eðli mannsins að draga ályktanir um hlutina í sjónumhverfinu. Án þess að beita hугanum í skynjun myndum við ekki skynja umhverfið réttilega. En þessar ályktanir, sem við erum vön að draga, drögum við fyrirhafnarlítið án þess að taka eftir því.

Ög síðar sagði Alhazen (Al-Haytham, 1989, II.3, 39):

Skilningurinn beitir þessum ályktunum ekki í gegnum meðvitaða hugsun, sem hann þarf að hafa fyrir, heldur vegna

þess að hugurinn er vanur að gera þetta á þennan hátt.

Hugmyndir Alhazens voru, af þessu að dæma, í góðu samræmi við það sem kallað hefur verið túlkunarhyggja (e. *constructivism*) sem er ráðandi kenning í sjónskynjun í dag (Árni Kristjánsson, 2012; Palmer, 1999). Alhazen talaði um að þegar við skynjum heiminn byggjum við upp innri ímynd sem endurspeglar túlkun okkar á umheiminum. Þessi túlkun og þessar ályktanir eru ómeðvitaðar samkvæmt Alhazen.

Sálfræði, hugfræði og skynjun í kenningum Alhazens

Alhazen sneri sér næst að því að skilja hvernig hugurinn vinnur úr áreitum sem berast inn um augað. Tókst honum að sýna fram á hvernig hægt væri að samþætta sálfræði, lífeðlisfræði, líffærafræði, eðlisfræði og hornafræði í eina kenningu um sjónskynjun og hugarstarf. Alhazen hélt því fram að úrvinnsla hugar á sjónáreitum skipti miklu um sjónskynjun en langt er frá því að hann hafi látið þar staðar numið heldur setti hann fram ýmsar byltingarkenndar hugmyndir um hvernig þessi úrvinnsla færi fram, hugmyndir sem tóku fram öllu því sem á undan hafði farið í vísindasögunni.

Um lífeðlisfræði skynjunar var Alhazen sammála Galen sem gerði ráð fyrir að sjónupplýsingar bærust heilanum um sjóntaugina.⁹ Hann hélt því fram að þegar sjónáreitin lenda á augasteininum eigi sér stað ferli sem líkist snertingu, sem til dæmis getur orðið að sársauka þegar áreitið er of mikið eins og ef snerting er of köftug eða þegar horft er í sólina. Upplýsingarnar berast síðan til heilans þar sem frekar er unnið úr þeim. Þarna má aftur finna sterk áhrif frá Aristótelesi sem gerði ráð fyrir að form hlutanna væri skynjað með samþættingarskynfærinu¹⁰ (Aristóteles, 1985; sjá jafnframt Robinson, 1999; Smith, 2001). Alhazen var um margt sammála Aristótelesi sem hélt því

8 Raunar er rétt að geta þess að þótt Alhazen hafi átt stóran þátt í að útskýra, að skynjun geti ekki átt sér stað með útgeislun frá augunum, er sú spurning í eðli sínu óháð umræðu um hlutverk skilningsins í skynjun.

9 Hvorki Galen né Alhazen höfðu hins vegar hugmynd um hvernig boðin bærust um sjóntaugina. Það liðu tæp 900 ár þar til vísindamenn gerðu sér skýra grein fyrir því hvernig rafboð og efnaboð berast um taugakerfið.

10 Alhazen talaði þarna um *lokaskynjandann* sem hann kallaði *al-quwwa al-mumayyiza*, og er oft nefnt *ultimum sensis* á latínu.

fram að gagnsær búnaður augans tæki á sig mynd eða eiginleika hlutarins sem er skynjaður, eins og þegar vax tekur á sig form innsiglis án þess að taka á sig neitt efnislegt frá innsiglinu. En hann gerði jafnframt ráð fyrir að efnislegar breytingar verði á skynfærinu (Aristóteles, 1985; sjá umfjöllun í Árni Kristjánsson, 2012; Van Hoorn, 1972).

Hlutaskynjun og sniðmát. Alhazen hélt því fram að eiginleikar eins og ljós og litir, fjarlægð, lögun, fjöldi, hreyfing og áferð væru faldir í ljósinu, sem berst auganu í gegnum ljósgeisla frá áreitum í umhverfinu, og að við ályktuðum síðan um eðli þeirra. Án ályktunar um það sem er í kringum okkur sjáum við ekki í neinum skilningi þess orðs. Hæfileikinn til ályktunar er meðfæddur en við lærum að nota hann til skilnings á heiminum. Þessi leið til þess að samræma erfðahyggu og reynsluhyggu er afar nútímaleg. Alhazen gerði ráð fyrir að við fæðumst með tiltekinn búnað til skilnings á heiminum sem reynslan sniður síðan að umhverfinu (sjá t.d. Blakemore og van Sluyters, 1974; Ridley, 2003; Wiesel og Hubel, 1963). Sem dæmi um þetta, sagði Alhazen að þegar við hefðum skynjað stærð tiltekins hlutar nokkrum sinnum og stærð hans væri regluleg í hvert skipti sem við kæmumst í tæri við hann myndum við að jafnaði skynja þennan hlut af þessari stærð – stærðin er „geymd í sálinni“ eins og Alhazen orðaði það. Þessi hugmynd er í ætt við nútímakennningar um sniðmát (e. *templates*) í sjónskynjun (Posner og Keele, 1968; Solso og McCarthy, 1981). Með þessum hætti hefur þekking, sem við öðlumst gegnum skynreynslu, áhrif á skynjun: við þekkjum form sem við höfum áður séð (Alhazen, 1989; II.4, 18, 19, 33, 34; sjá jafnframt El-Bizri, 2005) og þegar við sjáum einhvern hlut reynum við að máta hann við sniðmát sem við búum yfir. Jafnframt sagði Alhazen að endurtekin reynsla af einstökum mönnum eða hestum, sem dæmi, byggi upp altæk form, sem innihalda mengi þeirra þátta sem þessir hlutir eiga sameiginlega. Þessar hugmyndir eru í ætt við það sem kallað hefur verið líkindi með fjölskyldumeðlimum innan hugfræðinnar (Rosch og Mervis, 1975; Wittgenstein, 1953). Sniðmát þjóna því hlutverki grunneininga en einstaklingar innan fjölskyldu eða mengis geta síðan haft ýmsa eiginleika sem greina þá frá

öðrum þótt grunneiginleikarnir séu þeir sömu og þeir tilheyri sömu fjölskyldunni (Alhazen, 1989; II.4, 16.) Þarna fjallaði Alhazen um frumgerðir og aðgreiningu hluta í flokka eftir því hvaða séreinkenni þeir hafa og hélt hann því fram að slík ferli lægju til grundvallar hlutakennslum en slíkar hugmyndir eru einmitt kjarninn í mörgum nútímakenninum um hlutakennsl (Neisser, 1967; Reed, 1972; Rosch, Mervis, Gray, Johnson og Boyes-Braem, 1976; Tversky, 1977).

Alhazen hélt fram að endurtekin skynjun tiltekins hlutar byggi upp tákmynd (eða sniðmát) í minni okkar sem við getum nýtt okkur við að þekkja hluti og gefur vísbendingar um hvaða eiginleika tiltekinn flokkur hluta á sameiginlega (Alhazen, 1989; II.4, 18, 19). Hér fjallaði Alhazen um hvað ræður því hvernig við flokkum hluti í umhverfinu og hvaða þættir stjórna því hvaða flokki hlutirnir teljast tilheyra (Rosch o.fl., 1975). Enginn samtímavísindamaður Alhazens, né nokkur þeirra sem fylgdu í kjölfarið á endurreisnartímanum og á nýöld, fjölluðu um hlutaskynjun af slíku innsæi. Horfa þarf fram til 19. og 20. aldar til þess að finna hugmyndir sem jafnast á við kenningar Alhazens (Logothetis og Sheinberg, 1996).

Í framhaldi af umfjöllun um hlutaskynjun talaði Alhazen um hvernig við lærum að þekkja hluti. Sem dæmi má nefna að hann talaði um hvernig það að sjá einungis fyrsta og síðasta staf í orði nægi til að þekkja orð. Það að sjá einungis lítinn part hlutanna geti dugað okkur til að þekkja þá ef þeir falla að einhverju sniðmáti sem við búum yfir. Þarna snerti Alhazen á því hvernig lestur verður fyrirhafnarlítill og áreynslulaus. Fellur þessi sniðurstaða vel að almennum hugmyndum hans um hlutaskynjun því sjá má fyrir sér að í skynjun séu orðin eignuð einhverju tilteknu sniðmáti. Alhazen talaði um *al-dikhr*, sem líklega er einfaldast að þýða sem *minni* sem leikur mikilvægt hlutverk í skynjun en hefur líka hefðbundnara minnishlutverki að gegna eins og við úrvinnsla stærðfræðilegra sanninda. (Alhazen, 1989; II.3, 19, 20, 42, 45; sjá Crombie, 1990). Þegar orð er komið í minnið vegna reynslu okkar af að sjá það dugar því að sjá bara fyrsta og síðasta staf orðsins til að þekkja það. Einnig fjallaði Alhazen um hvernig við þekkjum hluti sem eru kunnuglegir hraðar en þá sem eru framandi. Þessi umfjöllun minnr á hugmyndir um það sem kallað

hefur verið ýfing þar sem gert er ráð fyrir því að taugavirkni sem viðbragð við tilteknu áreiti haldi áfram og þegar sama áreiti ber fyrir sjónir aftur sé auðveldara að vinna úr því (Biederman og Cooper, 1991; Kristjánsson, 2006; Kristjánsson o.fl., 2007; Schachter og Buckner, 2008). Þannig erum við fljótari að þekkja og bregðast við því sem við erum vön að sjá (Kristjánsson og Campana, 2010).

Önnur meginhugmynd í kenningum Alhazens, sem færir hann fæti framur þeim sem á undan honum komu og jafnframt mörgum sem fylgdu í kjölfarið á endurreisnartímanum, er áhersla hans á að takmarkið í sjónskynjun sé ekki að lýsa því sem ber fyrir augu af nákvæmni heldur að meginmarkmiðið sé að komast að því hvað er á ferð í umhverfinu. Í skrifum hans skín í gegn að hann taldi verkefni sjónskynjunar vera að búa til *nothæfa* og *gagnlega* mynd af heiminum en ekki endilega að færa okkur sem réttasta mynd af umheiminum (Árni Kristjánsson, 2012).

Skynhrif og Skynjun. Gjarnan er rætt um að sjónskynjun fari fram í þrepum. Frumúrvinnsla fari fram í sjónbotni þar sem ljósnæmar frumur taka við ljósi og breyta þeim upplýsingum í taugaboð. Þaðan berast upplýsingar í hliðlægt hnélíki í stúkunni í miðheila og síðan að sjónsvæðum heila þar sem frekari úrvinnsla fer fram. Sérhver eiginleiki í umhverfinu (litur, tegund, hreyfing o.s.frv.) á sér sitt tiltekna svæði þar sem úrvinnsla á þeim eiginleika fer fram (Fodor, 1983; Zeki, Watson, Lueck, Friston, Kennard og Frackowiak, 1991). Alhazen gerði einnig ráð fyrir slíkri þrepaskiptingu í sjónskynjun og úrvinnslu sjónáreita. Hann lagði fram þriggja þrepa hugmynd um skynferlið: i) skynhrif vegna lita og ljóss. Í dag er slík úrvinnsla fyrst og fremst talin eiga sér stað í sjónu og í hliðlægu hnélíki í stúkunni; ii) ómeðvitaðar ályktanir um hvað er á ferð í umhverfinu og samanburður við sniðmát í minni; iii) meðvitaðar ályktanir um hluti í sjónsviði. Þarna gekk Alhazen skipulega til verks og þegar hann fjallaði um um hinar ýmsu hliðar sjónskynjunarinnar gerði hann það að jafnaði út frá þessari þrepaskiptingu.

En þessar hugmyndir Alhazens fela jafnframt í sér vísi að þeirri skiptingu í *skynhrif* og

skynjun (Crombie, 1990; Russell, 1948) sem er útgangspunktur í kennslubókum í sálfræði og rekja má til skoska 18. aldar heimspekingsins Thomasar Reid (Reid, 1765/2000) en þeirra sjást einnig merki í skrifum nýalदारheimspekingsa líkt og Johns Locke (1700/1975) og Georges Berkeley (1733). Alhazen sagði um slíka skiptingu (þýðing höfundar):

Ljósið, sem er skynjað með skynhrifum einum og sér, er ljós sem ljós og litur sem litur¹¹. En ekkert af því sem við *sjáum* er skynjað gegnum skynhrifin ein og sér heldur einungis með túlkun, aðgreiningu og kennslum auk skynhrifanna.

(Al-Haytham, 1989, II.3, 22).

Alhazen greindi sem sé á milli þess sem hann kallaði *mujarrad-al-hiss* (skynhrif) og *al ma' rifa* sem má þýða sem túlkun. Fyrra ferlið skynjar ljós sem ljós og lit sem lit en í því síðara felst ályktun þar sem upplýsingar í ljósinu eru bornar saman við það sem hefur verið séð áður og er í minni (Al-Haytham, 1989; II.3, 50,52; II.4, 22). Það sem ég kalla hér skilninginn kallaði Alhazen *al-quwwa al-mumayyiza* (sjá El-Bizri, 2005).

Hlutverk athygli í sjónskynjun. Í nútíma-kenningum um sjónskynjun leikur athyglin lykilhlutverk. Ef athyglin er bundin við annað sjáum við að jafnaði ekki hluti fyrir framan okkur sem falla utan við athyglisluggann í neinum skilningi orðanna „að sjá“ (Kristjánsson, 2006; Mack og Rock, 1998; Most o.fl., 2001). Fyrir vísindamenn sem fást við að rannsaka hlutverk athyglinnar í sjónskynjun á 21. öld er afar merkilegt að lesa í 1000 ára gömlu riti fullyrðingar Alhazens eins og þessa: „Sjónin nemur hluti í umhverfinu á tvennan hátt, með snöggu tilliti og með ígrundun“ Alhazen átti hér við að sumir hlutir renni fram hjá fyrir augum okkar án þess að við veitum þeim athygli og að við þurfum að veita hlutunum athygli til þess að vinna með þá (með ígrundun). Í þessari fullyrðingu ræðir Alhazen um þessi ferli á svipuðum nótum og gert er þegar talað er um forathyglistig og athyglitig (al-Haytham, 1989, II.4, 5, 20, 33; sjá jafnframt El-Bizri, 2005; sjá

11 Alhazen á hér við að þetta séu hræfni skynjunarinnar.

t.d. Neisser, 1967; Treisman og Gelade, 1980; Wolfe, 1994) sem hefur verið grunnskipting í rannsóknum á athygli í hálfa öld þó hún hafi mætt nokkurri andstöðu undanfarin ár (Awh, Theeuwes og Belopolsky, 2012; Kristjánsson, 2015).

Skynjun þriðju víddarinnar. Alhazen lét sér fátt óviðkomandi varðandi sjónskynjun í *Bók um ljósfræði*. Hluta bókarinnar varði hann í að fjalla um hvernig við skynjum dýpt í umhverfinu eða það sem er kallað þriðja víddin. Hann benti á að sjóngeislakenningar Ptólemajosar og Evklíðs geri ágætlega grein fyrir því hvernig við skynjum stærð og fjarlægð en einungis ef maður fellst á meginforsenduna um útgeislun ljóss frá auganu. Ef sá sem gaf frá sér ljósið vissi hvers konar ljós hann var að gefa frá sér gat hann greint stærð hlutanna. Þarna var því hægt að nota þekkt hornafræðilögmál (til dæmis lögmál um samlaga þríhyrninga, reglu Pýþagórasar og að hornasumma þríhyrnings er alltaf 180°) til þess að komast að stærð og fjarlægð hluta. En þar sem Alhazen var búinn að hafna slíkum útgeislunarkenningum þurfti hann að setja fram aðrar skýringar þar sem stærð hlutanna, þegar þeir varpast á sjónbotn, er óáreiðanlegt vísbendi um dýpt (sami hlutur varpar stórri mynd á sjónbotn þegar hann er nálægt en lítilli mynd þegar hann er langt í burtu), eins og Alhazen áttaði sig á (Al-Haytham, 1989, II.3, 144, 149; sjá jafnframt El-Bizri, 2005).

Alhazen velti því fyrir sér spurningunni um hvaða vísbendi í myndinni, sem okkur berst, við gætum notað til þess að ákvarða dýpt í myndinni. Sem dæmi fann hann að litur getur verið dýptarvísbendi (Smith, 2003). Við vitum í dag að mismunandi litir endurvarpast misvel í andrúmsloftinu og bláir litatónar dreifast mest í andrúmsloftinu vegna eðlis ljósbrots fyrir mismunandi liti. Því virðast hlutir blárrí því fjær sem þeir eru og þess vegna gerir fjarlægðin fjöllin blá.

Alhazen hélt því fram að til þess að við skynjum fjarlægð hlutanna rétt, þurfi hluturinn, sem meta á fjarlægð frá, að vera nálægt hlutum sem hafa einhvers konar reglu (eru í röð eða nálægt hver öðrum) og þurfa helst að vera á sama fleti og skynjandinn. Lýsir hann tilraunum sem sýna fram á þetta (Al-Haytham, 1989, II.3, 76, 84, sjá jafnframt El-Bizri, 2005). Þarna fjallaði Alhazen um tvö dýptarvísbendi sem í dag eru

kölluð *línuleg fjarvidd* og *áferðarstuðull*. Síðari hugmyndin er oft eignuð James Gibson (1950) þar sem hlutir sömu stærðar virðast minni og þéttari eftir því sem þeir eru fjær. Einnig tók Alhazen eftir því að þegar við horfum á hlutina í gegnum lítið gat er erfitt að dæma um fjarlægð vegna þess að við sjáum ekki vísbendi eins og grunnflötinn sem hlutirnir eru á.

Alhazen áttaði sig jafnframt á því að sú staðreynd, að við erum með tvö augu sem hafa eilítið mismunandi sjónarhorn á hlutina, einkum þegar þeir eru nálægt okkur, getur leikið hlutverk í skynjun dýptar. Hann gerði rannsóknir á því hvernig sjónkerfið sameinar sjónumyndirnar tvær og komst að þeirri niðurstöðu að tveir mismunandi geislar berast frá sérhverjum hlut og sameinast í samþættingarskynfærinu. Alhazen fjallaði jafnframt um hinn hornafræðilega hórópter (sem hann kallaði *sameiginlega ásinn*; Al-Haytham, 1989, III.2, 12), og er ímyndaður hringur sem áhorfspunktur okkar fellur á og varpa hlutir, sem falla á hórópterinn, eins myndum á sjónbotn hvors auga. Enn var Alhazen trúur hinu skynjunarsálfræðilega sjónarhorni, sem hann hafði að leiðarljósi, og ræddi um hvernig, innan tiltekins svæðis, tvær mismunandi myndir varpast ekki á sjónbotn – þar átti hann við samrunasvæði Panums. Alhazen sagði (þýðing höfundar):

Ef hlutur liggur utan [hins hornafræðilega hórópters] – en þó ekki sérlega langt frá honum – verða myndirnar á sjónbotni ekki mjög ólíkar og þess vegna verður ímynd þeirra ekki tvöföld þegar hún berst taugunum.

(Al-Haytham, III.2, 19).

Þetta byggði hann á þeirri niðurstöðu að hlutir, sem eru nær eða fjær þeim punkti sem við einblínum á, varpa mismunandi myndum á sjónbotn hvors auga fyrir sig. Í þessu – sem og svo mörgu öðru – gerði Alhazen uppgötvanir sem síðar voru eignaðar öðrum (í þessu tilfelli Dananum Peter Ludwig Panum, sjá Wade, 1999). Einnig er rétt að geta þess að Alhazen var líklegast fyrstur til þess að velta fyrir sér bindingarvandamálinu í sjónskynjun sem snýst meðal annars um hvernig skynkerfið bindur saman upplýsingar frá augunum tveimur.

Einnig má nefna að Alhazen benti á að hægt er að rugla þennan samruna með því að ýta á annað augað þannig að það færist aðeins til og sjáum við þá tvöfalt.

Litaskynjun. Hugmyndir Alhazens um lita-skynjun eru í samræmi við þrepaskiptingu hans í skynjun. Hann sagði að fyrst skynjum við liti með skynhrifunum einum saman en þegar við höfum séð sama litinn aftur og aftur lærum við að þekkja hann. Þarna leikur reynslan aftur lykilhlutverk í samhengi við ályktun og úrvinnslu.

Einnig fjallaði Alhazen um nokkur litafyrirbæri og lýsti til dæmis því hvernig litir hlutanna virðist halda sér þó svo að birtustig í umhverfinu og litur ljóss, sem varpast á hlutina, breytist en þetta er hugmyndin um það sem kallað er *litfesti*. Einnig gerði Alhazen athuganir á því hvernig samhengið getur breytt því hvaða liti við skynjum, það sem er kallað samhliða litaskil (Al-Haytham, 1989; I.7, 115) og lagði áherslu á að samhengið, sem ljós og litir birtast í, ráði því hvernig við skynjum þá (Wade, 1999).

Alhazen lýsti einnig afar áhugaverðum lita-blöndunartilraunum þar sem hann litaði skífu í mismunandi litum og lét hana síðan snúast hratt um miðju sína þannig að litirnir blönduðust saman í skynjun (Al-Haytham, 1989, II.3, 57). Þannig komst hann að því hvernig litir blönduðust með svokallaðri samlagningarlitablöndun. Margar af helstu uppgötvunum í litaskynjun, sem gerðar voru á 19.öld af Thomasi Young og Hermannni von Helmholtz, (Boring, 1942) byggðu til dæmis á rannsóknnum sem framkvæmdar voru með þessari aðferð.

Skynjun fegurðar

Sálfræðingar hafa lengi reynt að átta sig á hvað ræður því að sumir hlutir teljast fallegri en aðrir. Alhazen gerði það líka og talaði um að samræmi, hlutföll og samhliðmur ráði fegurð. Þetta er einmitt vinsæl hugmynd nú um stundir um það hvaða andlit, sem dæmi, teljast falleg, að það séu andlitin, sem eru hvað samhverfust, og að tiltekin hlutföll í andlitum hafi mikil áhrif á skynjaða fegurð (Mealey, Bridgstock og Townsend, 1999; Rhodes, 2006). Ekki er vitað til þess að neindir forverar Alhazens hafi fjallað um skynjun fegurðar á svo nútímalegan hátt. Alhazen sagði í *Bók um ljósfræði* (þýðing höfundar):

Andlit með fallega löguð, stór augu ásamt tiltölulega flötu nefi, hvers stærð er í góðu samræmi við stærð augnanna eru falleg. Sama má segja um möndlulaga augu sem hafa finlega og heillandi lögun, jafnvel þótt þau séu smá, ef þau fara saman við mjótt nef sem er af hæfilegri stærð og lögun. Að sama skapi eru mjórar varir ásamt finlegum munni fallegar ef finleikinn er í réttu hlutfalli við stærð munnsins.

(Al-Haytham, 1989, II.3, 230).

Villur í skynjun. Skynvillur hafa lengi verið notaðar til þess að varpa ljósi á hvernig sjónkerfið virkar. Þriðji hluti *Bókar um ljósfræði* fjallar um slíkar villur, og er þessi umræða Alhazens í góðu samræmi við túlkunarhyggju hans. Hann skipti skynvillum í þrennt – frá skynhrifum til túlkunar – skipting sem byggir vitaskuld á þrískiptingunni í kenningu hans. Hann leit því svo á að eðli skynvillna væri í beinu samhengi við verkan skynkerfisins og gætu þær veitt upplýsingar um hvernig kerfið ynni. Alhazen er sá fyrsti, svo vitað sé, sem leit á skynvillur sem sálfræðilegt vandamál. Hann talaði til dæmis um það sem síðar var kallað Gelb-hrfin (Stewart, 1959) þar sem birtustig flatar er skynjað ranglega þegar skuggi, sem varpast á hann, er ekki skynjaður sem skuggi heldur sem eitthvað annað (Gilchrist, 2006).

Gott dæmi um hvernig Alhazen hugsaði um skynvillur er útskýring hans á tunglskynvillunni þar sem tunglið virðist stærra þegar það er við sjóndeildarhringinn en þegar það er hátt á lofti. Hann gerði ráð fyrir að skynjuð stærð tunglsins endurspegladi samvirkni milli skynjaðrar stærðar þess og skynjaðrar fjarlægðar þess. Skynkerfið blekkist vegna hluta, eins og trjáa, húsa eða fjalla, við sjóndeildarhring og telur tunglið vera stærra en það er (Gorini, 2003, Ross og Ross, 1976). Athyglisverðast við þessa skýringu Alhazens er að þetta er *sálfræðileg* skýring á skynvillunni: *túlkun* á því sem berst skynfærunum útskýrir skynvilluna (Sabra, 1987). Raunar fjallaði hann líka um hina sérkennilegu þversögn að ef tunglið virðist stærra, virðist það vera nær en ef það virðist vera nær (en varpar jafnstórri mynd á augnbótin) ætti það því að virðast minna (o.s.frv.) og eru vísindamenn enn

að fást við þessa ráðgátu. Öfugt við sálfræðilega skýringu Alhazens hafði Ptólemajos til dæmis talið að mismunandi endurvarp í gegnum andrúmsloftið útskýrði tunglskynvilluna (Ross og Ross, 1976). Sú skýring dugar samt ekki meðal annars vegna þess að skynvillan hverfur þegar tunglið er við sjóndeildarhring en sjóndeildarhringurinn er hulin (sjá t.d. Kaufmann og Rock, 1962). Skýring Ptólemajosar dugar ekki vegna þess að sálfræði skynjunar er ekki tekin með í reikninginn¹².

Rannsóknir á skynjun ungbarna

Að lokum má geta þess að Alhazen lagði til að hægt væri að rannsaka skynjun ungbarna (sem geta ekki skýrt frá því hvað þau sjá) með því að kanna hvað þau horfa á og gera ráð fyrir að þau horfi lengur á það áreiti sem þeim finnst áhugaverðara. Þessi aðferð er almennt kennd við *valbundið áhorf* (e. *selective looking*) og er oftast eignuð bandaríska þroskasálfræðingnum Robert L. Fantz (Fantz, 1961).

Gallar á hugmyndum Alhazens

Auðvitað er ekki sanngjarnt að gera þá kröfu til 1000 ára gamals rits að þar sé allt í samræmi við nútímahugmyndir en engu að síður er rétt að geta tveggja grundvallarmistaka sem finna má í *Bók um ljósfræði*.

Ein gáta vafðist öðrum fremur fyrir Alhazen. Hann sýndi fram á hvernig ljósið getur borist inn í augað en hvað tók við þar hvað ljósbrotið varðar átti hann í vandræðum með að útskýra. Hann leysti þetta vandamál ekki fyllilega og í kenningu Alhazens vantar útskýringu á því hvernig augasteinninn varpar ímynd af umhverfinu á sjónbotn (Lindbergh, 1976; Smith, 2001). Alhazen taldi að sjónmyndinni væri varpað á aftara yfirborð augasteinsins og taldi hann það vera hið eiginlega næma yfirborð sem síðan kæmi upplýsingum til heilans í gegnum sjóntaugina. Einnig fannst Alhazen ómögulegt að ímynda sér að sjónmyndin sneri öfugt. Hér féll hann í gildru sem hann varaði sjálfur við því að það að myndin, sem fellur á sjónbotn, snúi „öfugt“ er algjörlega tilbúið vandamál og tengist spurningunni um hvort hlutverk sjónkerfisins sé að útbúa sem *réttasta*

mynd af umhverfinu eða sem *nothæfasta* mynd af umhverfinu. Ekkert er því til fyrirstöðu að myndin snúi öfugt, sjónkerfið hefur einfaldlega þróast í þá átt að við getum nýtt þessar upplýsingar til gagnlegra samskipta við umheiminn.

Jafnframt hélt Alhazen því fram að ljós og litur væru sitthvað en í dag vitum við að litir eru einfaldlega faldir í ljósinu og fer það eftir því hvaða nema í sjónkerfi okkar ljósið örvar hvaða liti við skynjum sem aftur fer eftir því hver tíðni ljósgeislanna er. Þó að Alhazen hafi komist nokkuð áleiðis við að skilja blöndun lita, komst hann ekki að kjarna málsins og beið það Isaac Newton að útskýra hvernig skynjaður litur er falinn í ljósinu sem birtist auganu.

Lokaorð

Óhætt er að taka undir með Alan Gilchrist (1996) sem sagði að það sé með hreinum ólíkindum að lesa 1000 ára gömul skrif Alhazens vegna þess hve nútímaleg þau eru. Alhazen var að mörgu leyti töluvert nær nútímanum í skrifum sínum en stór hluti þeirra heimspekinga sem fjallað hafa um þekkingarfræði og önnur viðfangsefni tengd skynjunarsálfræði og hugfræði eftir hans tíð. Hugmyndin um ómeðvitaðar ályktanir er nefnd til grundvallar í kennslubókum en hún er sjaldan eða aldrei eignuð Alhazen heldur er hún eignuð Hermanní von Helmholtz. En í mínum huga leikur enginn vafi á að Alhazen er merkastur skynjunarvísindamanna fram að von Helmholtz og vonast ég til þess að þessi grein varpi einhverju ljósi á hvers vegna ég held þessu fram.

Langur vegur er frá því að vísindauppgötvanir innan íslamska menningarheimsins njóti sannmælis á Vesturlöndum. Margar uppgötvanir, sem Alhazen gerði og fjallaði um í *Bók um ljósfræði*, hafa verið eignaðar öðrum. Hið sama á við um margar aðrar uppgötvanir íslamskra vísindamanna á miðöldum. Það er löngu komin tími til að þeirra sé getið að verðleikum.

12 Rétt er að geta þess að á tunglinu er gígur sem nefndur er eftir Alhazen.

The first vision scientist? Perceptual Psychology in Alhazen's Book of Optics

Judging from the literature on the history of science one might think that very few major discoveries were made between the classical age until the renaissance in the 15th Century and the subsequent enlightenment. This is also true regarding the history of perception and cognition. The contribution of Arabic and Islamic scholars to this is often neglected, and here, I will discuss the research and discoveries of Ibn Al-Haytham (965-1040) that were presented in his Book of Optics. His ideas and methods are remarkably modern and corresponding insights were in many cases not made until the 20th Century. Alhazen proposed that the mind creates a representation of the world through the interpretation of the image formed by the eye. Many of his proposals could well be taken from current textbooks on visual perception, such as his distinction between sensation and perception, templates in object perception, the role of memory in vision, 3D perception and the importance of attention for vision. I will compare Alhazens ideas with current ideas in visual perception.

Keywords: *Alhazen, History of Psychology, Islamic Psychology, Perception.*

Heimildir

- Adamson, P. (2007). *Al-Kindi*. Oxford: Oxford University Press.
- Annas, J. E. (1994). *Hellenistic Philosophy of Mind*. Berkeley: University of California Press.
- Al-Haytham, I. (1989). *Optics* (A. I Sabra þýddi á ensku). London: The Warburg Institute, The University of London.
- Al-Khalili, J. (2010). *The house of wisdom: How Arabic Science saved ancient knowledge and gave us the renaissance*. London: Penguin Books.
- Andri Steinþór Björnsson. (2004). *Vísindabyltingin og rætur hennar í foröld og á miðöldum*. Reykjavík: Háskólaútgáfan.
- Aristóteles. (1985). *Um sálina* (Sigurjón Björnsson þýddi). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Árni Kristjánsson. (2012). *Innra augað: Sálfræði hugar, heila og skynjunar*. Reykjavík: Háskólaútgáfan.
- Awh, E., Belopolsky, A. V. og Theeuwes, J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(8), 437–443.
- Berkeley, G. (1733). *The theory of vision vindicated and explained*. Cambridge: MacMillan & co.
- Biederman, I. og Cooper, E. E. (1991). Priming contour-deleted images: Evidence for intermediate representations in visual object recognition. *Cognitive Psychology*, 23(3), 393–419.
- Blakemore, C. og van Sluysers, R. C. (1974). Reversal of the physiological effects of monocular deprivation in kittens: Further evidence for a sensitive period. *The Journal of Physiology*, 237, 195–216.
- Boring, E. G. (1942). *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. New York: D. Appleton-Century Company.
- Crombie, A. C. (1990). Expectation, modelling and assent in the history of optics: Part I. Alhazen and the medieval tradition. *Studies in History and Philosophy of Science*, 21(4), 605–632.
- DeValois, R. L. og DeValois, K. K. (1990). *Spatial vision*. Oxford: Oxford University Press.
- Eastwood, B. S. (1982). The elements of vision: The micro-cosmology of Galenic visual theory according to Hunayn Ibn Ishāq. *Transactions of the American Philosophical Society*, 72, 1–59.
- El-Bizri, N. (2005). A philosophical perspective on Alhazen's optics. *Arabic Sciences and Philosophy*, 15, 189–218.
- Fantz, R. (1961). The origin of form perception, *Scientific American*, 204(5), 66–72.

Árni Kristjánsson, Professor of Vision Science, Faculty of Psychology, School of Health Sciences, Oddi við Sturlugötu, Reykjavík, Iceland. Email: ak@hi.is

- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Gibson, J. J. (1950). *The Perception of the visual world*. Boston: The Houghton Mifflin Company, The Riverside Press.
- Gilchrist, A. (1996). The deeper lessons of Alhazen. *Perception*, 25, 1133–1136.
- Gilchrist, A. (2006). *Seeing black and white*. Oxford: Oxford University Press.
- Gorini, R. (2003). Al-Haytham, the man of experience, first steps in the science of vision. *Journal of the International Society for the History of Islamic Medicine*, 4(2), 53–55.
- Howard, I. (1996). Alhazen's neglected discoveries of visual phenomena. *Perception*, 25, 1203–1217.
- Kaufman, L. og Rock, I. (1962). The moon illusion. *Science*, 136, 953–961.
- Kaukua, J. (2014). Avicenna on the soul's activity in perception. Í J. F. Silva og M. Yrjönsuuri (ritstjórar), *Active perception in the history of philosophy: From Plato to modern philosophy* (bls. 99–116). Zurich: Springer.
- Kepler, J. (2000). *Optics: Paralipomena to Witelo and optical part of astronomy* (W. H. Donahue þýddi á ensku). Santa Fe, New Mexico: Green Lion Press.
- Kheirandish, E. (2009). Footprints of „experiment“ in early Arabian optics. *Early Science and Medicine*, 14, 79–104.
- Kristjánsson, Á. (2006). Rapid learning in attention shifts: A review. *Visual Cognition*, 13, 324–362.
- Kristjánsson, Á. (2015). Reconsidering visual search. *i-Perception*, 6(6), 2041669515614670.
- Kristjánsson, Á. og Campana, G. (2010). Where perception meets memory: A review of priming in visual search. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72(1), 5–18.
- Kristjánsson, Á., Vuilleumier, P., Schwartz, S., Macaluso, E. og Driver, J. (2007). Neural basis for priming of pop-out revealed with fMRI. *Cerebral Cortex*, 17(7), 1612–1624.
- Lee, E. N. (1978). The sense of an object: Epicurus on seeing and hearing. Í P. K. Machamer og R. Turnbull (ritstjórar), *Studies on perception: Interrelations in the history and philosophy of science* (bls. 27–59). Columbus, Ohio: Ohio State University Press.
- 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: The 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 on perception: Interrelations in the history and philosophy of science* (bls. 137–159). Columbus, Ohio: Ohio State University Press.
- Lindberg, D. C. (1986). The Genesis of Kepler's Theory of Light: Light Metaphysics from Plotinus to Kepler. *Osiris*, 2, 4–42.
- Locke, J. (1700/1975). *An essay Concerning human understanding*. Oxford: Oxford University Press.
- Logothetis, N. K. og Sheinberg, D. L. (1996). Visual object recognition. *Annual Review of Neuroscience*, 19(1), 577–621.
- McGinnis, J. (2010). *Avicenna*. Oxford: Oxford University Press.
- Mack, A. og Rock, I. (1998). *Inattention blindness*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Mealey, L., Bridgstock, R. og Townsend, G. C. (1999). Symmetry and perceived facial attractiveness: A monozygotic co-twin comparison. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(1), 151.
- Most, S. B., Simons, D. J., Scholl, B. J., Jimenez, R., Clifford, E. og Chabris, C. F. (2001). How not to be seen: The contribution of similarity and selective ignoring to sustained inattention blindness. *Psychological Science*, 12(1), 9–17.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision Science: From photons to Phenomenology*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Parker, A. (2005). *Seven deadly colours: The genius of nature's palette and how it eluded Darwin*. London: The Free Press.
- Platón. (1997). *Ríkið* (Eyjólfur Kjalar Emilsson þýddi). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Platón. (2004). *Theaetetus* (R. A. H. Waterfield þýddi á ensku). London: Penguin Books.
- Posner, M. I. og Keele, S. W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology*, 77(3), 353–363.
- Reed, S. K. (1972). Pattern recognition and categorization. *Cognitive Psychology*, 3(3), 382–407.

- Reid, T. (2000). *An inquiry into the human mind on the principles of common sense: A critical edition* (2. bindi). Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Rhodes, G. (2006). The evolutionary psychology of facial beauty. *Annual Review of Psychology*, 57, 199–226.
- Ridley, M. (2003). *Nature via nurture*. London: Fourth Estate.
- Robinson, D. N. (1986). *An intellectual history of psychology*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin Press.
- Robinson, D. N. (1999). *Aristotle's psychology*. New York: Columbia University Press.
- Rosch, E. og Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, 7(4), 573–605.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M. og Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382–439.
- Ross, H. E. og Ross, G. M. (1976). Did Ptolemy understand the moon illusion? *Perception*, 5(4), 377–385.
- Russell, B. (1948). *Human knowledge*. London: Simon and Schuster.
- Shiraev, E. (2011). *A history of psychology: A global perspective*. Thousand Oaks, Kaliforníu: Sage Publications.
- Sabra, A. I. (1966). Ibn al-Haytham's criticisms of Ptolemy's optics. *Journal of the History of Philosophy*, 4(2), 145–149.
- Sabra, A. I. (1978). Sensation and inference in Alhazen's theory of visual perception. Í P. K. Machamer og R. Turnbull (ritstjórar), *Studies on perception: Interrelations in the history and philosophy of science* (bls. 160–185). Columbus, Ohio: Ohio State University Press.
- Sabra, A. I. (1987). Psychology versus mathematics: Ptolemy and Alhazen on the moon illusion. Í E. Grant og J. E. Murdoch (ritstjórar), *Mathematics and its applications to science and natural philosophy in the middle ages*, bls. 217–247. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sabra, A. I. (1989). Introduction and commentary. Í I. Al-Haytham, *Optics* (A. I. Sabra þýddi á ensku). London: The Warburg Institute, The University of London.
- Saliba, G. (2007). *Islamic science and the making of the european renaissance*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Schacter, D. L. og Buckner, R. L. (1998). Priming and the brain. *Neuron*, 20, 185–195.
- 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. (2001). Introduction. Í *Alhacen's Theory of Visual Perception* (bls xv–cliv). Philadelphia, Pennsylvania: American Philosophical Society.
- Smith, A. M. (2003). Ptolemy, Alhacen, and Ibn Mu'adh and the problem of atmospheric refraction. *Centaurus*, 45(1–4), 100–115.
- Solso, R. L. og McCarthy, J. E. (1981). Prototype formation of faces: A case of pseudo-memory. *British Journal of Psychology*, 72(4), 499–503.
- Stewart, E. C. (1959). The Gelb effect. *Journal of Experimental Psychology*, 57(4), 235–242.
- Treisman, A. M. og Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136.
- Turner, H. R. (1995). *Science in medieval islam: An illustrated introduction*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, 84(4), 327–352.
- 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 Hoon, W. (1972). *Ancient and modern theories of visual perception*. Amsterdam: University Press Amsterdam.
- Wade, N. (1999). *A Natural history of vision*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Wiesel, T. N. og Hubel, D. H. (1963). Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *Journal of Neurophysiology*, 26, 1003–1017.
- Winer, G. A., Cottrell, J. E., Gregg, V., Fournier, J. S. og Bica, L. A. (2002). Fundamentally misunderstanding visual perception: Adults' belief in visual emissions. *American Psychologist*, 57(6–7), 417.
- Winter, H. J. J. (1953). The optical researches of Ibn al-Haitham. *Centaurus*, 3(1), 190–210.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigations* (G. E. M. Anscombe þýddi á ensku). Oxford: Blackwell Publishing.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202–238.
- Zeki, S., Watson, J. D., Lueck, C. J., Friston, K. J., Kennard, C. og Frackowiak, R. S. (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 11(3), 641–64.