

## Grossetestov kvalitativni lomni zakon

**Ingrid Kodelja**

*Transformacija moderne misli – filozofija, psihoanaliza, kultura*

### **O AVTORICI**

Ingrid Kodelja je doktorica filozofije. Raziskuje in objavlja na področjih srednjeveške filozofije znanosti, metafizike in socialne filozofije.

Leta 2016 je na modulu *Transformacije moderne misli – filozofija, psihoanaliza, kultura* PŠ ZRC SAZU pod mentorstvomizr. prof. dr. Matjaža Vesela uspešno zagovarjala doktorsko disertacijo z naslovom *Robert Grosseteste in začetki moderne znanosti*.

*Email: [ingrid.kodelja@siol.net](mailto:ingrid.kodelja@siol.net)*

**POVZETEK****Grossetestov kvalitativni lomni zakon**

Skozi Grossetestovo delo *De iride seu de iride et speculo* prispevek raziskuje razmerje med srednjeveško in zgodnjo moderno znanostjo. A. C. Crombie v delu *Augustine to Galileo* trdi, da predstavlja Grossetestova optika, njegov t. i. kvantitativni lomni zakon, konkreten in pomemben primer eksperimentalne metode značilne za moderno znanost. V nasprotju s Crombijevim pojmovanjem, skuša avtorica pokazati, da Grossetestov kvantitativni lomni zakon, izražen v *O mavrici*, ni eksperimentalen v smislu eksperimenta moderne znanosti, ker temelji na metafizičnih predpostavkah ekonomičnosti in uniformnosti narave, in ga zato pravilneje označimo kot kvalitativnega.

**Ključne besede:** *Grosseteste, mavrica, optika, znanost, lomni zakon*

**ABSTRACT****Grosseteste's Qualitative Law of Refraction**

This paper examines the relationship between medieval and early modern science through Grosseteste's work *De iride seu de iride et speculo*. A. C. Crombie in the work *Augustine to Galileo* considers Grosseteste's optics, his so-called quantitative law of refraction, as a concrete and important example of the experimental method of modern science. In opposition to Crombie, this paper attempts to demonstrate that since Grosseteste's so-called quantitative law of refraction, expressed in the work *On the rainbow*, is based on metaphysical assumptions on economy and uniformity of nature, it can in no way be seen as quantitative in the parlance of modern experimental science. Therefore, it can better be signified as qualitative.

**Key words:** *Grosseteste, rainbow, optics, science, law of refraction*

Po mnenju nekaterih zgodovinarjev znanosti se v delih Roberta Grossetesta kaže eksperimentalna znanstvena metoda značilna za moderno znanost.<sup>1</sup> Še posebej njegova dela o optiki naj bi predstavljala konkreten in pomemben primer te nove, eksperimentalne metode.<sup>2</sup>

Alistair C. Crombie v delu *Augustine to Galileo* podeli Grossetestu pomembno mesto med pisci o optiki v 13. stoletju. Meni, da je Grosseteste pomemben predvsem zaradi svojega poskusa razlage oblike mavrice s pomočjo pojava, ki ga je lahko proučeval izkustveno oz. eksperimentalno, to je lom svetlobe na sferičnih lečah. Njegov temeljni zastavek je, da je bil Grossetestov prispevek k optiki sicer bolj v poudarku pomena »eksperimentalne« in matematične metode kot v novih spoznanjih, da pa je vendarle prispeval nekaj pomembnih dodatkov, saj je v svojem delu *O mavrici ali o mavrici in zrcalu* poskušal lom obravnavati kvantitativno.<sup>3</sup>

V nasprotju s Crombijevim pojmovanjem, po katerem Grossetestova optika predstavlja konkreten in pomemben primer nove »eksperimentalne« metode, bom skušala pokazati, da Grossetestov t. i. kvantitativni zakon loma svetlobe, ki ga formulira v delu *O mavrici*, ni eksperimentalen oz. da ne ustreza pravilom eksperimentalne znanosti, saj temelji na metafizičnih predpostavkah ekonomičnosti in uniformnosti narave in je po svoji naravi pravzaprav kvalitativen.

Najprej bom posvetila nekaj besed Grossetestovemu pojmovanju načel geometrijske optike, ki jih postavi v delu *O črtah, kotih in oblikah ali o lomu in odboju žarkov* in nato uporabi v svoji teoriji mavrice. Nato se bom posvetila prvemu delu njegovega spisa *O mavrici*, kjer razvije zakon loma svetlobnih žarkov.

## **Geometrijska optika**

Za Grossetesta predstavlja optika osnovno znanost o naravi, ki razlaga način stvarjenja tvarnega, snovnega sveta, pa tudi način delovanja narave. Njegov geometrijski pristop k optiki

temelji na Aristotelovi misli in novoplatonistični tradiciji, v kateri je proučevanje optike na geometrijski način predstavljalo standard.<sup>4</sup> Geometrijsko obravnavanje svetlobe je bilo več kot le znanstvena metoda, imelo je tudi metafizični pomen, ki izhaja iz privilegiranega mesta matematike v novoplatonizmu. Grossetestovo pojmovanje razmerja med optiko in geometrijo ima svoj izvor v tradiciji, ki jo je osnoval arabski neoplatonistični mislec iz 10. stoletja, al-Farabi.<sup>5</sup> Al-Farabi ostro ločuje med optiko in fiziko. Optiko postavi, skupaj z geometrijo, aritmetiko, astronomijo in glasbo, med teoretične oziroma matematične, demonstrativne znanosti, ki so direktno podrejene geometriji. Vendar praktične uporabe optike, kot je na primer proučevanje mavrice, za al-Farabija ne sodijo med demonstrativne znanosti – znanost o mavrici spada k fiziki.

Ta pogled, ki je bil običajen v trinajstem stoletju, je prevzel tudi Grosseteste. Ko govorimo o Grossetestovi geometrijski optiki, moramo vsekakor upoštevati metafizični status svetlobe, ki ga je Grosseteste razvil v delu *O svetlobi*, in vlogo svetlobe oziroma iluminacije na področju spoznavne teorije. Svetloba je zanj prva »telesna oblika« vseh materialnih stvari in prvi princip gibanja. Vse spremembe v univerzumu lahko v končni fazi pripišemo dejavnosti svetlobe.

Grosseteste sicer ni postavil svoje klasifikacije znanosti, jasno pa je, da je ostro ločeval med fiziko in optiko, saj v delu *O mavrici ali o mavrici in zrcalu* pravi, da v fiziki pridemo do *quid* mavrice, v optiki pa do *propter quid* tega pojava.<sup>6</sup> Tako je optika kot geometrija, s katero se Grosseteste ukvarja v *De lineis, angulis et figuris*, ločena od fizikalnih učinkov optičnih zakonov, ki so podani v delu *O mavrici*. Optika je torej demonstrativna znanost, ki izhaja iz nedvoumnih *a priori načel oz. počel*, znanost, ki se od splošnega spušča k posamičnemu. Kot bomo videli v nadaljevanju, Grosseteste razvije matematične principe optike na metafizičnih temeljih. Zaradi tega je geometrijska optika sama po sebi (*in se*) oblika znanosti, vednosti (*sapientia*), za to raven spoznanja pa ni potrebno nobeno nanašanje na izkustveni svet. V svojo metodo spoznavanja sicer vključuje eksperimentalni<sup>7</sup>

postopek z namenom, da na najboljši način uporabimo konkretne podatke, ki vodijo k spoznanju vzrokov, vendar hkrati opozarja, da obstajajo boljši načini spoznanja.

Vsekakor je treba omeniti, da Grosseteste, kljub svoji naklonjenosti do uporabe optičnih primerov, v svojem *Komentarju Aristotelove Druge analitike* ne uporabi metode eksperimentalne verifikacije in falsifikacije pri optiki. Ta veja znanosti, tj. optika, je namreč, kot pravi Eastwood, najbolj dovzetna za antiekperimentalni pristop, če upoštevamo vlogo in pomen svetlobe v neoplatonistični metafiziki.<sup>8</sup>

V delu *O črtah, kotih in oblikah ali o lomu in odboju žarkov* Grosseteste postavi pravila geometrijske optike na neempiričnih osnovah. Tudi ko se sklicuje na izkustvo, so to le primeri splošnih načel, ki jih obravnava. Razlikuje štiri tipe svetlobe: neposredno, odbito oz. reflektirano, lomljeno in akcidentalno svetlobo. Optično piramido, stožec, ki ga ustvarijo žarki, ki izhajajo iz svetlobnega vira, obravnava kot normalen način prenosa svetlobe v naravi.

Začne z znamenitim stavkom: »Zelo pomembno je razumevanje črt, kotov in likov (*Utilitas considerationis linearum, angulorum et figurarum est maxima*), saj je brez njih nemogoče razumeti filozofijo narave (*quoniam impossibile est sciri naturalem philosophiam sine illis*)«. <sup>9</sup> Da bi prišli do *propter quid* vzroka naravnih pojavov, morajo biti ti izraženi s pomočjo črt, kotov in likov.<sup>10</sup> Nato se posveti proučevanju svetlobe.

Po Grossetestu moramo pri obravnavanju svetlobe in njenih učinkov upoštevati aktivni in pasivni dejavnik. Aktivni dejavnik se nanaša na samo svetlobo, tj. na naravo svetlobe in na njen način širjenja oziroma delovanja. Ko svetlobni žarek zadene objekt, se učinek spreminja glede na predmet, ki je pasiven. Tako sončni žarek ustvarja različne učinke glede na to, kam pade: posuši blato, topi led.<sup>11</sup> Svetloba, pravi Grosseteste, deluje vedno na isti način, to je geometrično. Svetlobni žarek sledi ravni, premi črti (*linearecta*), ki je najbolj učinkovita.<sup>12</sup> Narava namreč deluje na najkrajši možni način, ravna črta je najkrajša od vseh črt.<sup>13</sup>

Ravna črta vsebuje enakost brez kotov, enakost je boljša od neenakosti (*linea recta habet aequalitatem sine angulo; sed melius est aequale, quam inaequale*).<sup>14</sup> In še nekaj govori v prid ravni črti: vsaka delujoča sila deluje močnejše, če je enotna, večja enotnost delovanja je v ravni kot v ukrivljeni črti.<sup>15</sup>

Potem ko Grosseteste postavi te osnovne določitve, začne z obravnavo odboja in loma svetlobnih žarkov. Pri odboju svetlobnega žarka ugotovi, da morata biti vpadni in odbojni kot žarka enaka.<sup>16</sup> Enakost teh dveh kotov namreč omogoča najboljšo in najkrajšo pot žarka. V ozadju te trditve je princip ekonomičnosti, ki ga najdemo na primer že pri Aristotelu.<sup>17</sup> Ta princip pravi, da narava ne dela ničesar zaman.<sup>18</sup> Poleg enakosti vpadnega in odbojnega kota svetlobnih žarkov Grosseteste še poudari, da odboj svetlobo oslabi, kar pomeni, da je odbiti žarek šibkejši kot žarek, ki pada pravokotno na površino: »Glede odboja pa takole: delovanje je šibkejše, kjer se žarek odbija, ker vsak odboj povzroči slabenje. Še šibkejše je delovanje takrat, ko se žarek odkloni od ravnega vpada (*ab incessu recto*), ki bi ga moral imeti, če bi šel skozi sredino telesa«. <sup>19</sup> Grosseteste torej sklepa takole: ker je premica (*linea recta*) boljša, je ravni žarek močnejši; bolj kot žarek odstopa od preme, pravokotne smeri, šibkejši je.

Od tu preide na lom svetlobnih žarkov in pravi:

»Če pa telo, na katerem se zbirajo [žarki] (*concurrrens*) ne ovira prehoda moči, tedaj žarek, ki pada pod enakim kotom ali navpično, ohrani ravno smer in je najmočnejši (*ad angulos aequales sive perpendiculariter tenet incessum rectum et est fortissimus*). Tisti pa, ki pada pod neenakimi koti, se odkloni od ravnega vpada (*qui cadit ad angulos inaequales, deviat ab incesu recto*), ki ga je imel v prejšnjem telesu in bi jo še moral imeti, če bi bil medij enakomeren (*uniforme*). To spremembo smeri imenujemo lom žarka (*fractio radii*)«. <sup>20</sup>

Lom svetlobe se torej zgodi, ko se svetloba ne odbije od medija,

ampak gre skozenj. Ker pa se lomljena svetloba v manjši meri odkloni od ravne črte kot pri odboju svetlobe, so, po mnenju Grossetetsta, pri lomu svetlobe žarki močnejši kot pri odboju.<sup>21</sup> In če gre žarek skozi gostejši medij, se odkloni proti normali, pravokotnici, nasprotno se zgodi pri prehodu skozi redkejši medij.<sup>22</sup>

To so glavni poudarki Grossetetstovih geometrijskih načel optike. Zdaj se lahko posvetimo njegovemu lomnemu zakonu, ki je izražen v prvem delu spisa *O mavrici*.

### **Kvalitativni lomni zakon**

Od antike do srednjega veka lahko sledimo velikemu številu različnih znanstvenih razlag o nastanku mavrice, ki pa imajo eno skupno točko: osnova za vse te teorije o mavrici do 13. stoletja je odboj sončnih žarkov.<sup>23</sup> Od 13. stoletja naprej pa se začnejo pojmovanja o mavrici spreminjati.<sup>24</sup> Velik doprinos k razvoju srednjeveških teorij o mavrici je prispeval tudi Grosseteste. V teorijo o mavrici je namreč vpeljal lom svetlobe oz. refrakcijo. Prvo primerno razlago tega pojava je pozneje, okoli leta 1304, podal Teodor iz Freiberga. Najbolj v oči bijoč vidik Teodorjeve teorije, ki daje slutiti vzpon moderne znanosti, je eksperimentalni pristop. Teodor iz Freiberga je namreč odkril dejansko pot sončnih žarkov v posameznih dežnih kapljah, ko se pojavi mavrica. Kvalitativni mehanizem odboj-lom-odboj je od tedaj služil kot osnova teoretične strukture. Eksperimentalna metoda kot analitično orodje je prisotna tudi pri Rogerju Baconu, ki je, kljub temu da ostaja zavezan teoriji odboja, uspel ovreči Grossetestovo razlago mavrice. Vseeno pa je bila Grossetstova intuicija tista, ki je odprla pot Teodorju, saj bi, kot pravi Eastwood,<sup>25</sup> brez ideje, da je lom svetlobe bistven element pri proučevanju mavrice, srednjeveške teorije o mavrici ostale v slepi ulici. Poglejmo si torej Grossetestovo teorijo loma svetlobe, ki jo tako Baur kot Crombie označita za eksperimentalno.

Grossetestovo delo *O mavrici* lahko razdelimo na dva dela: na prvi del, ki obravnava lomni zakon, in drugi del, kjer navedeni

zakon Grosseteste uporabi pri razlagi nastanka mavrice. V tem prispevku se bom osredotočila samo na prvi del.

Grosseteste začne razpravo *O mavrici* s trditvijo, da proučevanje mavrice pripada tako fiziki, ki nam pove »da nekaj je«, kot perspektivi oz. optiki, ki nam da odgovor na vprašanje »zakaj nekaj je« oziroma nam poda vzrok pojava.<sup>26</sup> Ker Aristotel v svoji *Meteorologiji* ostaja na področju fizike, Grosseteste pravi, da bo on podal odgovor *propter quid*: »Zato bomo na tem mestu skušali po svojih močeh razložiti [vzrok] *propter quid*, ki spada na področje perspektive [oz. optike]«. <sup>27</sup>

Perspektivo oz. optiko Grosseteste tradicionalno razdeli na tri dele, ki so odvisni od načina prenosa žarkov. Prvi del perspektive se ukvarja z neposrednim prenosom v ravni črti in obsega vedo, imenovano »o vidu«. Drugi del optike predstavlja odboj in sodi k vedi »o zrcalih«. Tretji del optike pa obravnava lom žarkov in je bil do sedaj še nedotaknjen in ne(spo)znan:

*»Perspektivo delimo na tri glavne dele skladno s tremi načini prehajanja žarkov do gledane stvari. Prvi način prehajanja žarkov do gledane stvari je neposreden prehod skozi prosojen medij, ki je enega rodu [ali ene gostote] (per medium diaphani unius generis) in ki je postavljen med gledajočim in gledano stvarjo. Drugi je prehod v ravni črti k telesu, ki je takšne duhovne narave, kakršne je ogledalo (ad corpus habens naturam huius modi spiritualis, perquam ipsum est speculum) od katerega se odbije do gledane stvari. Tretji način prehoda žarkov je skozi več prosojnih teles različnih rodov [oz. gostot] (per plura diaphana diversorum generum), v katerih se zaradi stičnosti (continguitate) vidni žarek lomi pod kotom in ne pade na gledano stvar v ravni črti (non per incessum rectum), ampak po več ravnih črtah, ki so spojene v točki loma. Prvi način obravnava veda imenovana „o vidu“ [tj. optika] (scientia nominata de visu), drugega znanost o zrcalih (de speculis). Tretji del pa je pri nas*



*do zdaj ostal neznan in nedotaknjen*«. <sup>28</sup>

Z vedo o lomu svetlobnih žarkov, pravi Grosseteste, lahko razložimo veliko presenetljivih stvari. Na primer: povečava, ki nastane z lomom svetlobe skozi sferične leče, nam omogoča, da vidimo majhne predmete kot velike in oddaljene, kot da bi bili blizu;<sup>29</sup> če nam rob posode onemogoča, da bi videli kovanec, ki leži na njenem dnu, vanjo nalijemo vodo in ga tako zaradi loma žarkov lahko vidimo.<sup>30</sup> Pravi, da je to razvidno tudi iz tega, ker je *subiectum continui* telo ene narave. Vidni žarek je ob stiku dveh različnih prosojnih medijev s tem stikom presekan. Ker pa je celoten žarek ustvarjen iz enega počela (*a principio uno generatus*) oziroma izhaja iz enega počela, diskontinuiteta pri stiku ne more biti popolna, kajti če bi bila, bi bilo prehajanje prekinjeno. Zato je sredina med popolno kontinuiteto in popolno diskontinuiteto lahko samo točka, kjer se žarek dotakne dveh delov in sicer ne navpično, ampak pod kotom.

Po tem uvodu Grosseteste preide k opisu t.i. kvantitativnega zakona loma svetlobe oz. refrakcije. Velikost kota pri lomu svetlobnih žarkov opiše na sledeči način. Imamo dva prosojna medija različnih gostot z ravno ploskvijo. Na tej ravnini si predstavljamo pravokotnico, ki se podaljšuje v gostejši medij. Zamislimo si žarek, ki izhaja iz očesa skozi zrak na drug prosojen medij in se nepretrgoma premočrtno nadaljuje v ta drugi medij. Ko gre žarek iz redkejšega v gostejši medij, bo njegova pot v drugem mediju razpolovila kot, ki je nastal med pravokotnico na ploskev in črto, ki izhaja iz prvega medija in se nadaljuje v drugega:

*»Kolikšen je odklon žarka od ravnega vpada [pravokotnice] (adiuncti a recto incessu declinato), si bomo predstavljali na naslednji način. Zamislimo si žarek, ki izhaja iz očesa skozi medij zraka na drug prosojen medij in se nepretrgoma premočrtno nadaljuje. Od točke, v kateri pade na prosojno telo, nadaljuje pot v ravni črti v notranjost tega prosojnega [telesa] in na površino telesa dela enake kote z vsake strani (ex omni parte faciat angulos aequales).*

*Pravim torej, da vpadni kot v drugem prosojnem telesu teče po črti, ki razpolavlja kot na enaka dela (*incessus radii in secundo diaphano est secundum viam lineae dividensis per aequalia angulum*). Ta kot omejujeta žarek, ki se imaginarno nadaljuje nepretrgoma naravnost, in črta, ki teče od točke vpada žarka do kotov na površini drugega prosojnega telesa v njegovo notranjost».<sup>31</sup>*

V tem odstavku Grosseteste jasno prikaže, kaj se dogaja pri lomu žarkov – ko gre žarek iz enega prosojnega medija, na primer zraka, v drug prosojen medij, na primer vodo, se lomi pod kotom, ki razpolavlja vpadni kot na dva enaka dela.

Ko Grosseteste zapiše ta zakon, uporablja prvo osebo ednine (*dico*), kar kaže na izvirnost te formulacije. Eastwood opaža, da Grosseteste v svojih optičnih delih uporablja prvo osebo ednine samo v primerih, ko podaja svoje lastno mnenje ali informacijo in da se tako opis navedenega zakona kot tudi *dico* pojavljata tudi v drugem rokopisu *De iride*, ki ga Baur v svoji izdaji ne uporablja.<sup>32</sup> Še eno stvar iz tega odlomka je treba izpostaviti, in sicer način, kako je ta zakon izražen. Grosseteste pravi: »Vpadni kot žarka v drugi medij teče po črti, ki *razpolavlja kot na enaka dela* (*incessus radii in secundo diaphano est secundum viam lineae dividensis per aequalia angulum*)«.<sup>33</sup> Iz tega lahko sklepamo, da je tu poudarjena ideja enakosti, kajti normalen matematični način formulacije tega zakona bi bil: »lomni kot je enak polovici vpadnega kota«. Te »polovice« pa Grosseteste nikjer ne omenja. Ta posebna terminologija (*dividensis per aequalia angulum*) ima svoj pomen. Če raje govorimo o »delitvi kota na enaka dela« kot o razpolovitvi tega kota, je za fizika verjetno vseeno. Optični zakon se bo glasil  $r = \frac{1}{2} i$ . Za metafizika pa poudarjanje pojma enakosti kaže na sklicevanje na metafizični princip uniformnosti oz. enakosti, enoličnosti kot osnove za znanstveni zakon.<sup>34</sup> Da zgoraj navedena fraza ni zgolj naključna oziroma da ne predstavlja samo neke posebnosti v izražanju Grossetesta, ampak je zelo pomembna, je razvidno tudi iz paragrafov, ki v *O mavrici* sledijo. V naslednjem odstavku Grosseteste pojasni princip, na katerem je osnovan ta zakon »polovice«. Pravi, da

je dejstvo, da je velikost lomnega kota žarka določena na ta način, razvidno tudi na podlagi podobnih poskusov oz. izkustev z zrcali: odbojni kot žarka od zrcala je enak vpadnemu kotu. Do tega zaključka pridemo, če sledimo načelu ekonomičnosti:

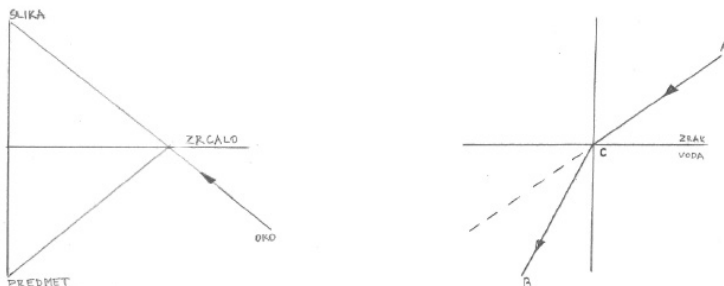
*»Da se na tak način določi velikost kota pri lomu žarka, nam kažejo poskusi podobni onim, ki smo jih že spoznali. Namreč, da odboj žarka od zrcala nastane v enakem kotu kot je vpadni kot (experimentia similia illis, quibus cognovimus, quod refractio radii super speculum fit in angulo aequali angulo incidentiae). Po tem principu deluje filozofija narave, in sicer na najbolj usklajen, najkrajši in najprimernejši način, kolikor je mogoče (omnis operationaturae est modo finitissimo, ordinatissimo, brevissimo et optimo, quoe impossibile est)«.<sup>35</sup>*

To načelo za Grossetesta predstavlja ključ za odkritje lomnega kota. Najkrajša pot med dvema točkama pri odboju je takrat, ko sta vpadni in odbojni kot enaka. To dejstvo predstavlja zanj potrditev načela ekonomičnosti in ga zato uporabi tudi pri lomu svetlobe. Oba pojava, lom in odboj, sta povezana kot »podobni izkustvi« (*experimentia similia*). Ker torej omenjeno načelo zahteva enaka kota pri odboju, mora to veljati tudi za lom. Pri lomu sta torej enaka kota dve polovici kota, ki ga oblikujeta pravokotnica in neposreden podaljšek poti žarka iz prvega v drugi medij.<sup>36</sup> To temeljno identiteto skuša dokazati v naslednjem paragrafu.

Začeli bomo z zadnjim delom odstavka, kjer Grosseteste opisuje zakon, ki določa položaj slike pri odboju.<sup>37</sup> Imamo ravno zrcalo in si predstavljamo, kje vidimo sliko predmeta pri odboju od tega zrcala. Da bi določili, kje se ta predmet pokaže, najprej povlečemo črto, ki izhaja iz predmeta pravokotno na ravno zrcalo in se nadaljuje za njim. Nato povlečemo črto pogleda iz očesa k objektu prek odboja ob enakih kotih. Potem potegnemo na drugi strani zrcala premočrtno nadaljevanje tistega dela črte pogleda iz očesa k zrcalu; ta se bo srečala s pravokotnico v točki, ki je enako oddaljena tako od zrcala kot od videnega

predmeta. Položaj slike pri odboju je tako določen s presečiščem pravokotnice na zrcalo iz gledanega predmeta in direktnega nadaljevanja črte pogleda iz očesa k zrcalu na drugi strani zrcala (glej sliko).

Pri določitvi položaja slike pri lomu velja isto pravilo. Zamislimo si ravno skupno površino med dvema medijema različnih gostot in pravokotnico na to površino. Kjer se sekata pravokotnica in ploskev, naj se črta pogleda iz zgornjega, redkejšega medija dotakne površine. Nato si zamislimo to linijo pogleda, ki se na površini lomi k pravokotnici, da se nadaljuje v gostejši medij in pride do vidnega predmeta. Kje se bo ta predmet pokazal? Lokacijo slike pri lomu Grosseteste določi s presečiščem pravokotnice na površino iz vidnega objekta in neposrednega nadaljevanja (na drugi strani lomljene površine) črte pogleda iz očesa k površini (glej skico; A: opazovalec, B: položaj predmeta, C: mesto, kjer se predmet pokaže).



Čeprav se dejanski položaji črt na diagramu odboja razlikujejo od tistih na diagramu loma, je princip isti. To je razvidno iz primerjave opisa obeh pravil. Ko Grosseteste prehaja od loma k odboju, najprej omenja lom in nato pravi, da lahko isto razlago apliciramo na odboj.

Pri razvoju Grossetestove optike je tako bistvenega pomena analogija med obema pojavoma. Za Grossetesta je ta analogija dejanska, opraviči jo z razlikovanjem med aktivnimi in pasivnimi

vidiki optičnih dogodkov. Na eni strani imamo svetlobo, ki je aktivna in deluje vedno na isti način, na drugi strani je pasivno zrcalo, od katerega se svetloba odbija, in nek drug, prav tako pasiven, transparentni medij, v katerem se svetloba lomi. Čeprav se učinki spreminjajo, so – kar zadeva svetlobo – sami po sebi ti učinki naključni, svetloba sama je po svojem bistvu vedno ista. Iz tega sledi, da lahko postavimo analogijo med učinki loma in odboja, saj je aktivni princip pomembnejši od pasivnega. Svetloba kot aktivni dejavnik je stalna in nespremenljiva, spreminja se samo sprejemnik. Tako pri lomu kot pri odboju zadene površino vpadni svetlobni žarek. Ker je aktivni dejavnik isti, morajo biti tudi učinki v bistvu isti, razlikujejo se samo v svojih akcidencah.

V zadnjih dveh obravnavanih odstavkih dela *O mavrici* oziroma v tistem delu stavka, kjer Grosseteste govori o črti potegnjeni pravokotno od vidnega predmeta na površino drugega prozornega medija, tistega bližje očesu (*lineae ductae a re visa cadentis in superficiem secundi perspicui propinquiorem oculo ad angulos aequales undique*),<sup>38</sup> vidi Crombie Grossetestov kvantitativni zakon loma svetlobe, ki pravi, da lomni kot predstavlja polovico vpadnega kota, ko svetloba prehaja iz redkejšega v gostejši medij.<sup>39</sup> Ker na začetku Grosseteste omenja določitev lomnega kota, Crombie verjetno domneva, da del besedila, ki sem ga navedla prej, predstavlja kvantitativni zakon loma svetlobe. Vendar kot pravilno ugotavljata tako Eastwood kot Turnbayne, gre v tem delu besedila za pravilo lokacije slike pri refrakciji.<sup>40</sup> Vseeno pa Turnbayne svoj članek zaključi s trditvijo, da čeprav ta odlomek ne razkriva Grossetestovega lomnega zakona, kaže pravilo za določitev lomnega kota eksperimentalno in je skladen s pogledom, da je svoje teorije eksperimentalno preverjal.<sup>41</sup> Grossetestov lomni zakon pa ni, kot je razvidno iz prvega obravnavanega odstavka, kjer ga tudi najdemo, določen z merjenjem, ampak racionalno, na temeljih simetrije in ekonomičnosti delovanja.<sup>42</sup>

Zakaj torej pri Grossetestu ne moremo govoriti o empirični določitvi tega zakona? Grosseteste, kot je razvidno iz njegove spoznavne teorije, pri spoznavanju daje prednost določitvi

a priori principov (če je to možno) pred »eksperimentalnim«, izkustvenim dokazovanjem. Zato sta tudi v tem primeru načeli ekonomičnosti in uniformnosti narave vodilni načeli, ki predstavljata temelj njegove geometrijske optike. Načelo ekonomičnosti, ki ga navaja in uporablja tudi v drugih besedilih, na primer v delu *O črtah*,<sup>43</sup> uporabi kot dokaz odbojnega zakona, tj. da vpadni in odbojni žarki tvorijo enake kote, ker je to najkrajša pot med dvema točkama pri odboju. Ker Grosseteste ne vidi bistvene razlike med odbojem in lomom, lahko zlahka naredi prehod od enega k drugemu. Zanj sta odboj in lom »podobni izkustvi« (*experimenta similia*).

Za Grossetesta tako ni samo verjetno, da sta odboj in lom podobna, ampak je to nujno. Uniformnost postane načelo narave. Vsi svetlobni pojavi morajo slediti zakonom na enostaven in uniformen način. Tako odboj kot lom se morata kot različna vidika istovrstnega pojava ujemati z zakonom o enakih kotih. Enakost predstavlja najvišjo stopnjo reda pri odboju in zato mora veljati tudi pri lomu. Shematično sta odboj in lom očitno različna, tu ni neke neposredno očitne analogije med obema pojavoma, saj gre pri lomu za žarek, ki predira drugi medij, pri odboju pa tega prediranja ni.

Vendar je treba poudariti, da je imel Grosseteste samo osnovno znanje optike, zato neenakost med obema pojavoma, ki jo vidimo danes, zanj ni predstavljala bistvene razlike. Ker torej ni imel razloga za drugačno razmišljanje, je razvil optična pravila na predpostavki, da ta temeljna podobnost oziroma istovrstnost obstaja. Vsekakor, kot poudarja Eastwood,<sup>44</sup> je imel dober razlog za podporo te predpostavke: pravilo za lociranje slike pri odboju je prav tako primerno za lom. V obeh primerih imamo površino (ki odbija ali lomi žarek), črto, potegnjeno pravokotno na površino iz gledanega predmeta, in žarek (odbit ali lomljen), ki gre iz očesa k predmetu preko površine. Grosseteste torej na osnovi pravila za lociranje podobe pri odboju poda pravilo za njeno lociranje pri lomu.

Tako kot lahko govorimo o uniformnosti pri zakonih o določanju

položaja slike pri odboju in lomu, lahko govorimo tudi o uniformnosti med kvantitativnim odbojnim in kvantitativnim lomnim zakonom: oba določata najkrajšo pot žarkov. Pri odboju pridemo do najkrajše poti med dvema točkama, ko sta vpadni in odbojni kot enaka. Skladno z načelom uniformnosti narava pod istimi pogoji deluje vedno na isti način. To pomeni, da neka delujoča sila vedno deluje na isti način, učinki se lahko spreminjajo skladno s spremembami zunanjih pogojev. V primeru odboja in loma imamo tako dva različna učinka istega naravnega delovanja, delovanja žarkov. Ko svetlobni žarek doseže ogledalo, se odbije; ko gre skozi prosojen medij, se lomi. Imamo torej različne pogoje in isto delovanje, saj svetloba deluje vedno na isti način. Zato lahko iz kvantitativnega odbojnega zakona sklepamo na lomni zakon. Če svetlobni žarek vedno ubere najkrajšo pot in je ta pot določena z enakostjo vpadnega in odbojnega kota v primeru odboja, potem lahko pričakujemo, da se tudi lom dogodi na način enakosti kotov. V primeru loma sta enaka kota dana z razpolovitvijo kota, ki ga tvorita navpičnica na površino in črta, ki nadaljuje pot vpadnega žarka skozi prosojen medij. Grosseteste lomnega kota ne opredeljuje s pojmi vpadnega kota, temveč govori o žarku, ki sledi poti, ki deli na enaka dela (*dividentia per aequalia*) kot med nadaljevanjem vpadnega žarka in pravokotnico. Kljub temu da je dejanska geometrija pri obeh pojavih različna, je način izražanja obeh pravil v bistvu identičen.

Ta verbalna podobnost, ki izpričuje očitnost metafizičnega principa uniformnosti, je za Grossetesta pomembnejša kot vsaka shematska razlika. Ne zanima ga toliko podrobna geometrijska obravnava optičnih propozicij, kot je ta zanimala npr. Ptolemaja ali al-Hazena. Zadostuje mu uporabnost geometrije v optiki. Geometrija mu bolj kot točnost predstavlja gotovost, obenem pa daje ugled metafizičnemu obravnavanju svetlobe. S tem, ko uporabi geometrijo kot pomočnico fiziki in metafiziki, razvije optične razprave, ki vključujejo več filozofskega razmišljanja kot matematike. Metafizični princip uniformnosti, ki je vključen in izražen v pojmu enakosti, je uporabljen za opis t.i. kvantitativnega lomnega zakona na osnovi odboja. Ta prvotna identiteta kaže na vpliv začetnih razprav o geometrijski optiki povezanih z

neoplatonizmom. Na tej osnovi je tudi postavljen ta zakon.<sup>45</sup>

Grossetestova optika torej ne predstavlja primera nove »eksperimentalne metode«, kot pravi Crombie. Optika je za Grossetesta demonstrativna znanost, ki izhaja iz nedvoumnih *a priori načel oz. počel*, znanost, ki se od splošnega spušča k posamičnemu. Kot smo videli, Grosseteste razvije matematične principe optike na metafizičnih temeljih. Zaradi tega je geometrijska optika sama po sebi (*in se*) oblika znanosti, vednosti (*sapientia*), za ta nivo spoznanja ni potrebno nobeno nanašanje na izkustveni svet. Vsekakor je treba omeniti, da Grosseteste kljub naklonjenosti do uporabe optičnih primerov v svojem *Komentarju Aristotelove Druge analitike* ne uporabi metode eksperimentalne verifikacije in falsifikacije pri optiki. Ta znanost – optika je namreč, kot pravi Eastwood, najbolj dovzetna za antieksperimentalni pristop, če upoštevamo vlogo in pomen svetlobe v neoplatonistični metafiziki.<sup>46</sup>

Lahko torej zaključimo, da je Grossetestov t. i. kvantitativni lomni zakon samo na pol kvantitativen, saj je osnovan na kvalitativnih principih ekonomičnosti in uniformnosti narave in bi bilo verjetno bolje, če bi ga imenovali kvalitativni lomni zakon, saj je na ta način tudi bolje razumljiv. S tem zakonom Grosseteste pokaže, kako lahko spekulativne, metafizične principe apliciramo na področje znanosti.

Grossetestova optika nasploh torej temelji predvsem na metafizičnih principih. Narava njegovih optičnih del, posebej njegova uporaba virov, dopolnjuje njegovo metafizično pozicijo. Kot je razvidno iz spisa *O svetlobi*, geometrija opisuje realnost, stvarjenje je prikazano v terminih geometrijskega optičnega atomizma. Ker je zemeljska svetloba odsev metafizične svetlobe in ker obe delujeta na geometrijski način, je spoznanje v optiki v bistvu geometrijsko spoznanje. Zato lahko do spoznanja v optiki pridemo z dedukcijo, induktivno sklepanje je omejeno le na specifične fizikalne pojave, ki jih povzročča svetloba. Ker Grosseteste v spoznavni teoriji daje prednost deduktivnemu spoznanju pred induktivnim, kot je razvidno iz njegovega



*Komentarja Druge analitike*, smo lahko pričakovali, da se je izogibal eksperimentalni metodologiji, kjer je le mogoče. In ker so bile zanj metafizične resnice bolj gotove, bolj zanesljive od fizikalnih, je apliciral metafizično spoznanje na optične probleme, kjer je bilo le mogoče. V tem smislu je razvijal optična pravila kot geometrijske propozicije. Metafizični princip ekonomičnosti delovanja narave uporablja na pomembnih delih svojih razprav, navaja ga celo kot dokaz lomnega zakona. Optika, razumljena na ta način, se tako lahko izogne pastem induktivnega spoznavanja, ki ostaja na ravni verjetnosti, če ni potrjeno z božjo iluminacijo.

## OPOMBE

- 1 Ko govorimo o eksperimentu v moderni znanosti, Alexandre Koyré opozarja, da samo eksperimentiranje, čeprav je značilno za moderno znanost, ni imelo odločilne vloge pri njenem oblikovanju. Poleg tega pa eksperimentalna metoda moderne znanosti implicira prevlado razuma nad izkustvom in zamenjavo znane empirične realnosti z idealnimi – matematičnimi modeli ter primat teorije nad dejstvi. Alexandre Koyré, »Izvori moderne znanosti«, v: *Znanstvena revolucija* (Ljubljana 2006), 72; Alexandre Koyré, »Galilej in Platon«, v: *Znanstvena revolucija* (Ljubljana 2006), 105.
- 2 Alistair C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science 1100–1700* (Oxford 1953); Ludwig Baur, *Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste, Bischofs von Lincoln* (Münster v Vestfaliji 1912).
- 3 Alistair C. Crombie, *Augustineto Galileo, Volume one: Science in the Middle Ages 5th to 13th Centuries* (London 1979), 114; glej tudi: *ibid.*, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science 1100–1700*, 116–134.
- 4 Geometrijski pristop v smislu metode geometrijskega dokazovanja – to pomeni, na splošno rečeno, da je bila določena stvar razložena, če je bila deducirana iz splošnih principov. Na primer, določena dejstva o trikotnikih, kot je to, da so trije notranji koti enaki vsoti dveh pravih kotov, so bila razložena z dedukcijo iz Evklidove definicije trikotnika, črte in nekaj drugih aksiomov. V antiki in srednjem veku je geometrija predstavljala model za ostale znanosti.
- 5 Bruce S. Eastwood, »Medieval Empiricism: The Case of Grosseteste's Optics«, *Speculum* 43 (1968), 307.
- 6 Robert Grosseteste, *De iride seu de iride et speculo* (1912), 72. Razlikovanje med znanostjo *quia* in *propter quid* izhaja iz razlikovanja med dvema vrstama silogizmov: silogizmom, ki dokazuje *dejstvo* – *da nekaj je (quia)* – in silogizmom, ki dokazuje *vzrok* – *zakaj nekaj je (propter quid)*. Pri dokazovanju dejstva napredujemo od posledic oz. učinkov, od zaznavnih pojavov, ki so bolj znani nam, da bi vzpostavili načela oz. počela, ki so bolj znana po sebi. Dokazovanje poteka od posameznega k splošnemu. Če pa hočemo pojasniti, *zakaj* nekaj je, mora biti sklep izpeljan iz prvotnih načel, ki so resnična, prvotna, neposredna, bolj znana, so *prej* in so vzrok sklepov. V tem primeru gre za dokazovanje od

splošnega k posameznemu. Cilj znanosti (*episteme, scientia*) je razlaga vzrokov (*propter quid*), zakaj so stvari takšne, kot so. Aristotel, *Druga analitika* (Ljubljana 2012), 2, 19, 100a; Robert Grosseteste, *Commentarius in posteriorum analyticorum libros*, (Firence 1981), I, 12, 1–22, 188–189. V srednjem veku in renesansi je bilo za znanstveno razumevanje dejstva, tj. *da nekaj je*, in znanstveno razumevanje vzroka, tj. *zakaj nekaj je*, v rabi več različnih poimenovanj: *demonstratio quia* in *demonstratio propter quid*; dokazovanje vzrokov iz posledic oz. učinkov in dokazovanje posledic oz. učinkov iz vzrokov; dokazovanje *a posteriori* in dokazovanje *a priori*, *compositio* in *resolutio* in tudi analiza in sinteza.

**7** Grossetestovega razumevanja eksperimenta ne moremo povezati s t. i. kontroliranim eksperimentom moderne znanosti. Pri njem je namreč eksperimentalno opazovanje povezano z božjo iluminacijo – eksperiment ne predstavlja neke ločene vrste spoznanja, ampak le stopnjo spoznanja. Z eksperimentom pridemo do spoznanja, ki je z iluminacijo povezano z najvišjim spoznanjem. Eksperiment tako ne predstavlja kriterija resnice, je le prva stopnja na poti k popolnemu spoznanju. O tem več v Ingrid Kodolja, »Grossetestovo razumevanje 'eksperimenta' v Komentarju Aristotelove Druge analitike«, *Filozofski vestnik* 37, št. 3 (2016).

**8** Eastwood, »Medieval empiricism«, 311.

**9** Robert Grosseteste, *De Lineis angulis et figuris seu de fractionibus et reflexionibus radiorum* (1912), 59–60.

**10** Ibid., 60.

**11** Ibid.

**12** Ibid.

**13** Ibid., 61.

**14** Ibid., op. 2. Grosseteste se sklicuje na Boetijevo *Arithmetico* I, 32; II 1.

**15** Ibid., na tem mestu se sklicuje na Aristotelovo *Metafiziko* V, 6, 1016a.

**16** Ibid., 61–62.

**17** Aristotel, *O nebu* (Ljubljana, 2004), I, 4, 271a.

**18** Eastwood, »Medieval Empiricism«, 313, op. 41, opozarja, da je Grossetestova raba tega načela vedno metafizična, čeprav ne razlikuje izrecno med metafizično in metodološko verzijo tega principa. Tu je to načelo uporabljeno kot vzrok in kot dokaz za enakost vpadnega in odbojnega kota.

**19** Grosseteste, *De lineis*, 59.

**20** Ibid., 63.

**21** Ibid. Trditev, da se odbojni žarek bolj odkloni kot lomljen, seveda ne

drži. O tem glej več v: Edward Grant, ur., *A Source Book of Medieval Science* (Cambridge, Mass. 1974), 387, op. 14.

**22** Grosseteste, *De Lineis*, 63; in Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*, 121.

**23** O tem več v: David. C. Lindberg, »Robert Grosseteste and the Revival of Optics in the West«, v: Grant, ur., *A Source Book of Medieval Science*, 384–391; Carl. B. Boyer, »Robert Grosseteste on the Rainbow«, *Osiris* 11 (1954), 247–258; Bruce S. Eastwood, »Robert Grosseteste's Theory of the Rainbow. A Chapter in the History of Non-experimental Science«, *Archives internationales d'histoire des sciences* 19 (1966), 313–322; Bruce S. Eastwood, »Metaphysical Derivations of a Law of Refraction: Damianos and Grosseteste«, *Archives internationales d'histoire des sciences* 20 (1970), 224–236; Bruce S. Eastwood, »Grossetestes Quantitative Law of Refraction: A Chapter in the History of Non-experimental Science«, *Journal of the History of Ideas* 28 (1967), 403–414.

**24** Kljub splošnemu prepričanju, da je srednji vek gradil na zaupanju in zanašanju na avtoriteto, pa Boyer (*Robert Grosseteste on the Rainbow*, 257) opozarja, da moramo preučevanje mavrice v 13. stoletju obravnavati kot izjemo glede na to pravilo. Od Grossetesta naprej smo priča resni kritiki, ki ne izvzema niti Aristotela. Iskanje novih in izpopolnjenih razlag se je vršilo z izrednim entuziazmom.

**25** Eastwood, »Robert Grosseteste's Theory of the Rainbow«, 314.

**26** Grosseteste, *De iride*, 72.

**27** Ibid.: »Ideoque in praesenti ipsum »propterquid«, quod attinet ad perspectivum, pro modulo nostro et temporis opportunitate suscepimus explicandum.«

**28** Ibid., 73.

**29** Primeri takšnih povečav so navedeni v Evklidovi *Optiki*, 2, 5, in v delu Seneke *Quaestiones naturales*, I, vi, 5. Ti deli sta bili v času, ko je Grosseteste pisal *De iride*, dostopni. Eastwood, »Medieval Empiricism«, 318, op. 77.

**30** Grosseteste, *De iride*. Tu se sklicuje na Evklidovo *Catoptrico*, def. 6. (Eastwood, »Medieval Empiricisms«, 318, op. 77) oz. postulat 7 (Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*, 119, op. 6).

**31** Grosseteste, *De iride*, 74; glej skico.

**32** Eastwood, »Grossetestes Quantitative Law of Refraction«, 406 in op. 16.

**33** Grosseteste, *De iride*, 74.

**34** Prim. Eastwood, »Metaphysical Derivations of a Law of Refraction«, 234.

**35** Grosseteste, *De iride*, 74–75. Na tem mestu je za odboj uporabljena beseda *refractio*, čeprav se le-ta ne pojavlja v vseh rokopisih (v Bibl. Marucell C. 163, f. 19D je uporabljena beseda *reflexio*). Sicer pa do sredine 13. stoletja v severni Evropi ni bilo fiksne oziroma veljavne terminologije za odboj in lom. Včasih so uporabljali besedo *fractio* izmenično za oba pojava, kar kaže na negotovost tistih, ki so jo uporabljali. Verjetno to zamenjevanje kaže tudi na to, da so imeli oba pojava za bolj ali manj enakovrstna. V latinski verziji al-Farabijevega dela *De scientiis* (3) se beseda *fractus* nanaša samo na odboj oziroma na specifično vrsto odboja. Čeprav v Grossetestovih drugih optičnih spisih nikjer ne naletimo na to splošno rabo, vseeno ne moremo reči, da je v *De iride* to samo lapsus, saj v nadaljevanju besedila združi odboj in lom pod enotnim principom in glede na eno kvantitativno pravilo. Eastwood, »Grosseteste's Quantitative Law of Refraction«, 406.

**36** Eastwood, »Grossetestes Quantitative Law of Refraction«, 407, pravi, da je to bistveno podobnost med odbojem in lomom najbolj jasno razumel Grosseteste, vendar je razvidna tudi iz optičnih razprav njegovih predhodnikov (npr. Seneca).

**37** Eastwood, *ibid.*, 408, op. 23, opozarja, da je bil ta zakon Grossetestu dostopen v Evklidovi *Katoptriki*, 16, 17, 18, in v al-Kindijevem delu *De aspectibus*.

**38** Grosseteste, *De iride*, 74–75.

**39** Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*, 123.

**40** Eastwood, »Grossetestes Quantitative Law of Refraction«, 409; in C. M. Turbayne, »Grosseteste and an Ancient Optical Principle«, *Isis* 50 (1950), 471.

**41** *Ibid.*, 472.

**42** Grosseteste, *De iride*, 74.

**43** Grosseteste, *De lineis*, 60–61.

**44** Eastwood, »Grossetestes Quantitative Law of Refraction«, 412.

**45** Eastwood, »Metaphysical Derivations of a Law of Refraction«, 224–236, pravi, da tako Ptolemaj kot al-Hazen, ki sta o lomu vedela verjetno precej več od Grossetesta in sta jemala eksperiment resno, nista formulirala tega zakona; neuspeh pri izračunavanju v terminih trigonometrijske funkcije je seveda predstavljal oviro za tako formulacijo.

Tisti pa, ki so pristopali k znanosti z bolj neoplatonističnega vidika, so bili bolj osredotočeni samo na zakonitosti v naravi in niso usmerjali toliko pozornosti na dokaze teh zakonitosti. Damianos v 4. stoletju obravnava lom in odboj na podoben način kot Grosseteste, vendar ga Grosseteste ni poznal.

**46** Eastwood, »Medieval empiricism: The Case of Grosseteste's Optics«, 311.

## LITERATURA

**Aristotel.** *Druga analitika*. Prevedla Jera Marušič. Ljubljana: Založba ZRC, 2012.

**Aristotel.** *O nebu*. Prevedel Pavel Češarek, spremna študija in opombe Matjaž Vesel. Ljubljana: Založba ZRC, 2004.

**Baur, Ludwig, ur.** *Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste, Bischofsvon Lincoln*. Münster v Vestfaliji: Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung, 1912.

**Boyer, Carl B.** »Robert Grosseteste on the Rainbow«, *Osiris* 11 (1954), 247–258.

**Crombie, Alistair. C.** *Augustine to Galileo, Volume one: Science in the Middle Ages 5th to 13th centuries, Volume two: Science in the Later Middle Ages and early modern times 13th to 17th centuries*. London: Heinemann Educational Books, 1979.

**Crombie, Alistair. C.** *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science 1100–1700*. Oxford: Clarendon Press, 1953.

**Eastwood, Bruce S.** »Grossetestes Quantitative Law of Refraction, A Chapter in the History of Non-experimental Science«, *Journal of the History of Ideas* 28 (1967), 403–414.

**Eastwood, Bruce S.** »Medieval Empericism: The Case of Grosseteste's Optics«, *Speculum* 43 (1968), 306–321.

**Eastwood, Bruce S.** »Metaphysical Derivations of a Law of Refraction: Damianos and Grosseteste«, *Archives internationales d'histoire des sciences* 20 (1970), 224–236.

**Eastwood, Bruce S.** »Robert Grosseteste's Theory of the Rainbow, A Chapter in the History of Non-experimental Science«, *Archives internationales d'histoire des sciences* 19 (1966), 313–332.

**Grant, Edward, ur.** *A Source Book of Medieval Science*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974.

**Grosseteste, Robert.** *Commentarius in posteriorum analyticorum libros*. Firenze: Leo S. Olschki, 1981.

**Grosseteste, Robert.** »Concerning Lines, Angles and Figures.« V: *A Source Book of Medieval Science*, ur. Edward Grant, angleški prevod David C. Lindberg, 385–388. Cambridge, Mass.: Harvard University Press 1974.

**Grosseteste, Robert.** »De iride seu de iride et speculo.« V: *Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste, Bischofsvon Lincoln*,

ur. Ludwig Baur, 72–78. Münster v Vestfaliji: Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung, 1912.

**Grosseteste, Robert.** »De lineis, angulis et figuris seu de fractionibus et reflexionibus radiorum.« V: *ibid.*, 59–65.

**Grosseteste, Robert.** »De luce seu de inchoatione formarum.« V: *ibid.*, 51–59.

**Grosseteste, Robert.** »On the Rainbow«, angleški prevod David C. Lindberg. V: *A Source Book of Medieval Science*, ur. Edward Grant, 388–391. Cambridge, Mass.: Harvard University Press 1974.

**Kodelja, Ingrid.** »Grossetestovo razumevanje eksperimenta v Komentarju Aristotelove Druge analitike«, *Filozofski vestnik* 37, št. 3 (2016), 53–69.

**Koyré, Alexandre.** »Galilej in Platon«, prevod Valerija Vendramin. V: *isti, Znanstvena revolucija*, 103–129. Ljubljana: Založba ZRC, 2006.,

**Koyré, Alexandre.** »Izvori moderne znanosti«, prevod Vojislav Likar. V: *ibid.*, 51–73.

**Lindberg, David C.** »Robert Grosseteste and the Revival of Optics in the West.« V: *A Source Book of Medieval Science*, ur. Edward Grant. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974.

**Lindberg, David C., ur.** *Science in the Middle Ages*. Chicago in London: The University of Chicago Press, 1978.

**Lindberg, David C.** *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600 b.c. to a.d. 1450*. Chicago in London: The University of Chicago Press, 1992.

**Turbayne Colin M.** »Grosseteste and an Ancient Optical Principle«, *Isis* 50 (1950), 467–472.