Piotr Błaszczyk Kazimierz Mrówka

KARTEZJUSZ
DIOPTRYKA

tłumaczenie i komentarz

KRAKÓW

Publikacja dofinansowana przez Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie.

© Copyright for this edition by Towarzystwo Autorów i Wydawców Prac Naukowych UNIVERSITAS, Kraków 2018

© Copyright for the Polish translation by Piotr Błaszczyk, Kazimierz Mrówka and Towarzystwo Autorów i Wydawców Prac Naukowych UNIVERSITAS, Kraków 2018

ISBN 97883-242-3405-9

Recenzent
Prof. dr hab. Roman Duda

Opracowanie redakcyjne
Piotr Błaszczyk, Kazimierz Mrówka

Skład i łamanie
Katarzyna Kopańska, Marek Janasz

Okładka, ilustracje, opracowanie graficzne
Katarzyna Kopańska

www.universitas.com.pl

WSTĘP

1. Niniejszy polski przekład *Dioptryki* stanowi drugą część wydania tryptyku esejów Kartezjusza z 1637 roku. W 2015 roku, w Wydawnictwie Universitas, ukazała się *Geometria*[1].

W kwestii edukacji matematycznej Kartezjusza, historii wydania dzieła z 1637 i późniejszych wznowień odsyłamy Czytelnika do naszego wydania *Geometrii*. Polskojęzyczna edycja *Dioptryki* opiera się na tych samych źródłach, co *Geometria*, czyli na pierwszym wydaniu z 1637, w drukarni Jana Maire w Lejdzie[2], oraz współczesnym jednotomowym wydaniu zatytułowanym *Discours de la méthode suivi de La Dioptrique, Les Météores et La Géométrie*[3].

W przedkładanym tłumaczeniu, podobnie jak w edycji *Geometrii*, zachowujemy podział na strony i akapity, z dokładnością do jednego wersu, oraz paginację pierwszego wydania; *Rozprawa o metodzie* jest tam zamieszczona na stronach 3–78, natomiast pozostałe eseje, *Dioptryka*, *Meteory*, *Geometria*, mają odrębną i ciągłą numerację stron. Sama *Dioptryka* jest na stronach 1–153. Za oryginałem powtórzyliśmy też nietypowy skład, łącząc na jednej karcie koniec rozprawy trzeciej z początkiem rozprawy czwartej, podobnie

[1] [Błaszczyk, Mrówka 2015].
[2] [Descartes 1637].
[3] [Descartes 2009].

w przypadku rozprawy ósmej i dziewiątej, czy stosując w tytułach rozdziałów kilka wielkości czcionek. Grafiki niniejszego wydania także są wzorowane na oryginale. W szczególności zachowaliśmy błędy odwrócenia liter czy fantazyjne, niejednorodne liternictwo, gdyż nie wpływają one na zrozumienie tekstu. Drobne zmiany dotyczą jedynie wyrazistości liter, które zatarły się w wyniku powielania drzeworytów.

Wszystkie tłumaczenia zawarte w książce są naszego autorstwa.

2. Starożytna optyka dzieliła się na optykę, czyli teorię widzenia, i katoptrykę, czyli teorię odbicia światła oraz tworzenia obrazów za pomocą luster. Traktat *Optyka* jest dziełem Euklidesa, *Katoptryka* – osiągnięciem zbiorowego autora zwanego Pseudo-Euklidesem. Obie prace stanowią podstawy antycznej optyki geometrycznej[4].

Pojęcie dioptryki wprowadził do słownika nauki Johannes Kepler rozprawą *Dioptryka, czyli dowód na to, jak obraz staje się widoczny dzięki nowo wynalezionemu teleskopowi*[5]. Greckie słowo ὀπτικός określa to, co dotyczy widzenia, wzroku, τὰ ὀπτικά jest nauką o optyce, zaś κατοπτρικός to lustro. Kepler chcąc uchwycić motyw przechodzenia, zmienił w κατοπτρικός przedrostek na διά i w ten sposób powstała „dioptryka", dział optyki badający zjawisko załamania światła (refrakcji).

W liście do Mersenne'a, datowanym 31 marca 1638 roku, Kartezjusz wyznaje, że Kepler był jego „pierwszym mistrzem optyki"[6].

[4] *Optyka* i *Katoptryka* Euklidesa zawarte są odpowiednio w: [Heiberg 1895, s. 1–121] oraz [Heiberg 1895, s. 285–343]. Zdania co do autorstwa *Katoptryki* są podzielone; zob. [Smith 1999, s. 17].

[5] Tytuł oryginału: *Dioptrice seu demonstratio eorum quae visui & visibilibus propter Conspicilla ita pridem inventa accident*, [Kepler 1611].

[6] [Adam, Tannery 1897–1913, t. II, s. 86].

Rzeczywiście, struktura i zakres tematyczny *Dioptryki* Kartezjusza – natura i załamanie światła, budowa oka, teoria widzenia, budowa lunet, mierzenie refrakcji – odpowiadają pierwszej części obszernego traktatu Keplera zatytułowanego *Uzupełnienia do Witelona, które zawierają część optyczną astronomii*[7], druga część tej pracy poświęcona jest już astronomii. Tytułem swojej rozprawy Kartezjusz wyraźnie nawiązuje do *Dioptryki* Keplera, chcąc w ten sposób podkreślić – acz nigdzie wprost o tym nie pisze – znaczenie swojego odkrycia. W *Dioptryce* Kartezjusz formułuje prawo załamania światła – prawo, którego Keplerowi nie udało się odkryć. Współcześnie jest ono nazywane „prawem Snella", a tylko we Francji używana jest nazwa „prawo Kartezjusza".

Pierwszeństwo autorstwa prawa refrakcji przypisuje się często holenderskiemu matematykowi i astronomowi Snelliusowi (1580–1626). Różnica jest taka, że o ile w przypadku Snelliusa mamy do czynienia ze świadectwem opierającym się na deklaracji innego holenderskiego matematyka, Christiaana Huygensa, który czytał rękopis niewydanego dzieła Snelliusa z 1621 roku, o tyle u Kartezjusza mamy esej wydany w 1637 roku. Stąd też francuskiego matematyka oskarżano o plagiat, który to zarzut odpierał wspomniany Huygens. Niedługo po śmierci Kartezjusza Holender, Isaac Vossius, uznał wyjaśnienia prawa załamania z rozprawy drugiej jedynie za próbę ukrycia plagiatu[8]. A na początku XX wieku Ernst Mach pisał: „Po przeczytaniu wywodu z rozprawy drugiej *Dioptryki* trudno przyjąć, nawet znając oświadczenie Huygensa, że Kartezjusz odkrył prawo

[7]Tytuł oryginału: *Ad Vitellionem Paralipomena, Quibus Astronomiea Pars Optica Traditur*, [Kepler 1604].

[8]Zob. [Heeffer 2017, s. 148].

załamania”[9]. Istotnie, wywód z rozprawy drugiej jest kontrowersyjny, ale zupełnie nową perspektywę zyskamy, oceniając prawo refrakcji na podstawie rozpraw ósmej oraz dziesiątej. I taką interpretację przedstawimy w załączonym komentarzu.

Według nomenklatury średniowiecznej, używanej jeszcze przez Kartezjusza, zagadnienia geometrii wchodziły w zakres matematyki czystej, natomiast te związane z dioptryką, były częścią matematyki mieszanej, czyli matematyki odniesionej do przedmiotów fizycznych[10]. W porządku logicznym esej poświęcony geometrii ma więc pierwszeństwo, ale w porządku historycznym Kartezjusz jako pierwszy zaplanował esej o dioptryce. W tym dziele matematyka została wykorzystana do badań nad światłem.

Dla Kartezjusza dioptryka, zaliczana do optyki geometrycznej, wychodziła od problemu ἀνάκλαστος, czyli krzywej skupiającej w jednym punkcie promienie równoległe[11]. Zagadnienie to było znane w starożytności jako *zwierciadło ogniskujące*. Dioklos, żyjący na przełomie III i II wieku p.n.e., wykazał, że własność tę mają zwierciadła paraboliczne[12]. W rozprawie ósmej *Dioptryki* Kartezjusz dowodzi, wykorzystując sformułowane wcześniej prawo załamania, że soczewki eliptyczne i hiperboliczne mają własność ogniskowania promieni biegnących równolegle do ich osi. Na tych twierdzeniach oparł swoją teorię budowy lunet, a tej kwestii była też poświęcona *Dioptryka* Keplera.

[9] [Mach 1926, s. 33].
[10] Zob. [Descartes 2009, s. 15].
[11] Zob. [Descartes 2009, s. 18].
[12] Zob. [Toomer 1976].

3. Zagadnienie światła poruszył Kartezjusz we wcześniejszym dziele przyrodniczym pod tytułem *Świat albo Traktat o świetle*[13], które redagował w latach 1629–1633. W pracy bronił hipotezy heliocentryzmu, jednak wyrok Świętego Oficjum z 22 czerwca 1633 roku w sprawie Galileusza, jak i enigmatyczne „pewne względy", o których wspomina w *Rozprawie o metodzie*, odwiodły go od zamiaru publikacji traktatu, który ukazał się dopiero po śmierci filozofa, w roku 1664. Niemniej już w roku 1630 Kartezjusz planował napisanie osobnego eseju o świetle, który ostatecznie, wraz z *Meteorami*, *Geometrią* oraz potraktowaną jako wstęp *Rozprawą o metodzie*, ukazał się anonimowo w roku 1637, w Lejdzie[14].

[13]Tytuł oryginału: *Le Monde ou Traité de la lumière.*

[14]Tytuł oryginału: *Discours de la Méthode pour bien conduire sa raison, et chercher la vérité dans les sciences, plus la Dioptrique, les Météores et la Géometrie qui sont des essais de cette Méthode.*

KARTEZJUSZ

DIOPTRYKA

Rozprawa Pierwsza

O ŚWIETLE

Całe nasze kierowanie życiem zależy od zmysłów, spośród których ten wzroku jest najbardziej uniwersalny i najwznioślejszy. Nie ma żadnych wątpliwości co do pożytku z wynalazków, które służą podniesieniu jego mocy. I trudno jest znaleźć cokolwiek, co podnosi ją bardziej niż te wspaniałe lunety, które będąc od niedawna w użyciu, odkryły nam nowe gwiazdy na niebie oraz inne nowe obiekty ponad ziemią, w większej liczbie od tych, które widzieliśmy wcześniej, tak iż prowadząc nasz wzrok dużo dalej niż miała to w zwyczaju robić wyobraźnia naszych ojców, zdają się one otwierać nam drogę, aby zdobyć dużo większe niż wcześniej i doskonalsze poznanie Natury. Jednak wstyd naszym naukom przynosi to, że ten wynalazek, tak użyteczny i zachwycający, został odkryty zrazu jedynie

za sprawą doświadczenia i przypadku. Około trzydzieści lat temu niejaki Jacques Metius z miasta Alcmar w Holandii – człowiek, który nigdy nie studiował, chociaż jego ojciec i brat byli zawodowymi matematykami, ale który czerpał szczególną przyjemność z tworzenia zwierciadeł i soczewek ogniskujących o różnych kształtach, wykonując je nawet z lodu w zimie, a doświadczenie pokazało, że można było je wykonać – korzystając z okazji, że ma kilka soczewek o różnych kształtach, szczęśliwym trafem spojrzał przez dwie, z których jedna była trochę grubsza w środku niż na krańcach, a druga przeciwnie, dużo grubsza na krańcach niż w środku, i tak szczęśliwie umieścił je na dwóch końcach tuby, że powstała pierwsza z omawianych przeze mnie lunet. I odtąd według tego wzoru powstawały wszystkie inne, chociaż według mojej wiedzy nikt nie określił dokładnie kształtów, jakie powinny mieć owe soczewki. Chociaż bowiem pojawiło się wiele wybitnych umysłów, które intensywnie zajęły się tą materią i przy tej okazji dokonały szeregu odkryć w optyce, wartych więcej niż te pozostawione nam przez starożytnych, to jednak te trochę skomplikowane wynalazki nie dochodzą od razu do najwyższego stopnia doskonałości, pozostaje więc dość trudności, abym miał o czym pisać. A ponieważ wykonanie omawianych rzeczy musi zależeć od produkcji zazwyczaj niewykształconych rzemieślników, to postaram się być zrozumiałym dla wszystkich i niczego nie pomijać ani nie zakładać, że powinno być to znane z innych nauk. Dlatego zacznę

od wyjaśnienia światła i jego promieni; dalej, podając krótki opis części oka, powiem szczegółowo, w jaki sposób działa wzrok; a następnie wspomnę o wszystkich rzeczach, które mogą uczynić go doskonalszym i pokażę, jak wykorzystać do tego wynalazki, które opiszę.

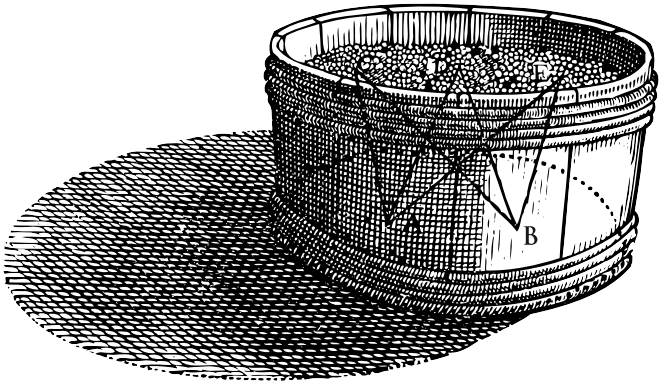
Otóż, nie mając tu innej okazji, by mówić o świetle, jak tylko po to, by wyjaśnić, w jaki sposób promienie wchodzą do oka i w jaki sposób mogą zmieniać bieg, napotykając różne ciała, nie ma potrzeby, abym naprawdę mówił, jaka jest jego natura i myślę, że wystarczy mi posłużyć się dwoma lub trzema porównaniami, które, jak mi się zdaje, pomogą ująć je w najprostszy sposób, aby wyjaśnić wszystkie te jego własności, jakie poznajemy przez doświadczenie, a następnie wyprowadzić wszystkie inne, które nie mogą być tak łatwo rozpoznane. Będę tu naśladował Astronomów, których założenia są prawie wszystkie błędne lub niepewne, a jednak, z tego względu, że odwołują się do różnych poczynionych obserwacji, wyciągają szereg różnych bardzo prawdziwych i pewnych wniosków. Z pewnością zdarzyło się wam czasem, idąc nocą bez pochodni przez trochę mroczne miejsca, że w drodze musieliście posłużyć się laską; i mogliście zwrócić uwagę, że za pośrednictwem tej laski wyczuwaliście różne napotykane przedmioty, a mogliście nawet rozpoznać, że były to drzewa lub kamienie, lub piasek, lub trawa, lub błoto, lub inna podobna rzecz. Prawdą jest, że ten rodzaj wrażenia jest trochę

niezrozumiały i niejasny dla tych, którzy nie posługiwali się nim przez dłuższy czas; ale weźcie ślepców od urodzenia, którzy posługują się nim całe życie, a znajdziecie je w nich tak doskonałe i tak precyzyjne, iż można by niejako rzec, że widzą oni rękami lub że ich laska jest organem pewnego szóstego zmysłu, jaki został im dany z braku wzroku. Porównując to, chciałbym, abyście pomyśleli, że światło nie jest niczym innym w ciałach zwanych świetlistymi jak tylko pewnym bardzo szybkim i bardzo żwawym ruchem lub działaniem, które zmierza do naszych oczu za pośrednictwem powietrza oraz innych ciał przeźroczystych, w ten sam sposób, co ruch lub opór ciał, który napotyka ów ślepiec i przechodzi przez jego rękę za pośrednictwem laski. Zrazu nie wyda się wam dziwne, że promienie światła mogą przebiec od Słońca do nas w jednej chwili: wiecie bowiem, że poruszenie jednego z końców laski w jednej chwili przechodzi na drugi koniec, a tak samo działoby się, gdyby jeszcze większy dystans dzielił ziemię i niebo. Nie wyda się wam również dziwne, że za jego pośrednictwem możemy widzieć wszystkie rodzaje kolorów; a być może uwierzycie, że te kolory, w ciałach zwanych kolorowymi, nie są niczym innym jak tylko różnymi sposobami, w jakie ciała odbijają je i przesyłają do naszych oczu: przyznajcie tylko, że różnice, jakie ślepiec wyczuwa, za pośrednictwem laski, między drzewami, kamieniami, wodą i podobnymi rzeczami, nie wydają mu się mniej ważne niż dla nas te między czerwienią, żółcią, zielenią i wszystkimi innymi kolorami;

a jednak różnice we wszystkich ciałach nie są niczym innym jak tylko różnymi sposobami ruchu lub oporu wobec ruchów laski. Dzięki temu będziecie mogli sądzić, że nie trzeba zakładać, iż coś materialnego przechodzi od rzeczy do naszych oczu, aby umożliwić nam widzenie kolorów i światła, ani nawet nie ma niczego w tych przedmiotach, co byłoby podobne do idei lub wrażeń, jakie o nich mamy; tak samo z wyczuwanych przez ślepca ciał nie wychodzi nic, co musiałoby przejść przez całą laskę aż do jego ręki, a opór lub ruch tych ciał, który jest jedyną przyczyną wrażeń, jakie o nich ma, nie jest w niczym podobny do ujmowanych przez niego idei. Przez to wasz duch zostanie uwolniony od wszystkich fruwających w powietrzu małych obrazów, zwanych *species intentionalis*, które tak bardzo zajmują wyobraźnię Filozofów. Będziecie mogli nawet łatwo rozstrzygnąć spór między nimi dotyczący miejsca, z którego pochodzi działanie tworzące wrażenie widzenia; ponieważ nasz ślepiec może czuć wokół siebie ciała nie tylko przez działanie tych ciał, kiedy poruszają jego laskę, ale również ręki, kiedy tylko stawiają jej opór; tak samo należy powiedzieć, że przedmioty widzenia mogą być odczuwane nie tylko za sprawą działania, które będąc w nich, dąży w kierunku oczu, ale również za sprawą tego, które będąc w oczach, dąży ku nim. Skoro jednak tym działaniem jest światło, to należy zauważyć, że w ciemności mogą widzieć tylko ci, w których oczach się ono znajduje, na przykład koty; zaś ludzie widzą jedynie przez działanie,

które pochodzi od przedmiotów: doświadczenie bowiem pokazuje nam, że to widziane przedmioty muszą być świecące lub oświetlone, a nie nasze oczy. Ale ponieważ istnieje duża różnica między laską ślepca oraz powietrzem lub innymi ciałami przeźroczystymi, za pośrednictwem których widzimy, to muszę posłużyć się tu jeszcze innym porównaniem.

Oto kadź w czasie winobrania, wypełniona winogronami zmiażdżonymi w połowie, w której dnie zrobiono dziurę lub dwie, A i B, przez które może płynąć wypełniające ją słodkie wino. Dalej pomyślcie, że w Naturze nie ma pustki, co przyznają prawie wszyscy Filozofowie; niemniej wszystkie ciała, które postrzegamy wokół nas, mają liczne pory, co doświadczenie może jasno wykazać; pory muszą być wypełnione jakąś bardzo subtelną i bardzo płynną materią, która rozciąga się nieprzerwanie od Gwiazd aż do nas. Otóż, porównując tę subtelną materię z winem w kadzi, a składniki mniej płynne lub cięższe, powietrze i inne ciała przeźroczyste, z winogronami, łatwo zrozumiecie, że składniki wina znajdujące się



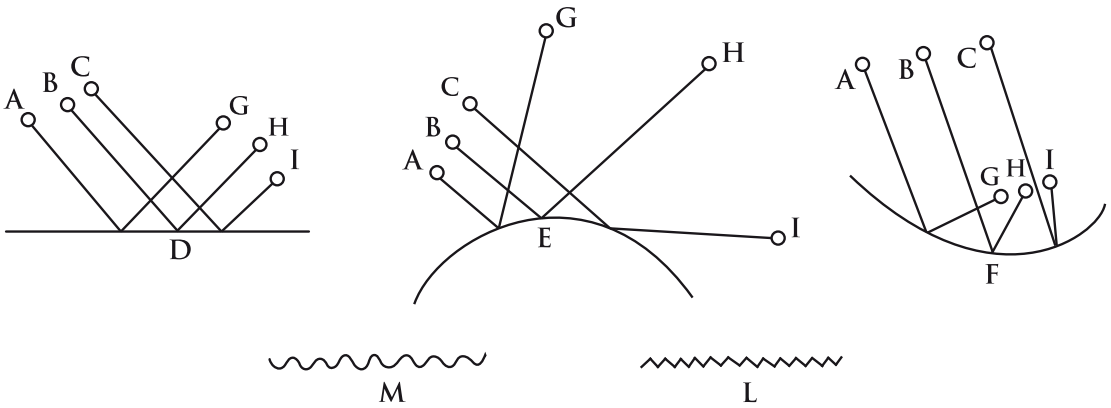
na przykład w C dążą do wyjścia w prostej linii przez dziurę A, a tak samo przez dziurę B, w tej samej chwili, w której zostają otwarte, a te, które są w D i w E, również dążą w tym samym czasie do wyjścia przez te dwie dziury i żadne z tych działań nie przeszkadza innym ani też nie czyni tego opór gron znajdujących się w kadzi: natomiast grona, podtrzymując się nawzajem, nie dążą wcale do wyjścia przez dziurę A i B, jak wino, nawet jeśli są poruszane na różne sposoby przez tych, którzy je miażdżą. Tym sposobem wszystkie części materii subtelnej, która dotyka skierowane ku nam strony Słońca, dążą w linii prostej do naszych oczu w tej samej chwili, w której otwierają się, nie przeszkadzając sobie wzajemnie, a nawet nie są wstrzymywane przez gęstsze części ciał przeźroczystych, które są między dwoma; albo ciała poruszają się na różne sposoby, jak powietrze, które jest prawie zawsze poruszane przez jakiś wiatr, albo są one bez ruchu, jak szkło lub kryształ. I zwróćcie tu uwagę, że należy rozróżnić między ruchem oraz działaniem lub skłonnością do poruszania się. Można bowiem dostrzec, że składniki wina, które są na przykład w C, dążą do B, a razem do A, mimo iż nie mogą aktualnie poruszać się w obie strony jednocześnie; i że dążą dokładnie w linii prostej do B i A, mimo iż nie mogą poruszać się tak dokładnie w linii prostej z powodu winogron znajdujących się między nimi; myśląc zatem, że światło nie jest ruchem, lecz działaniem ciał świecących, musicie twierdzić, że promienie światła nie są niczym innym

jak tylko liniami, wzdłuż których odbywa się to działanie. W ten sposób istnieje nieskończoność takich promieni, które idą ze wszystkich punktów ciał świecących do wszystkich punktów tych, które oświecają; tak samo możecie sobie wyobrazić nieskończoność linii prostych, wzdłuż których działania idące ze wszystkich punktów powierzchni wina CDE dążą do A, oraz nieskończoność innych, wzdłuż których działania idące z tych samych punktów dążą również do B, nie przeszkadzając sobie wzajemnie.

Ponadto promienie te muszą być zawsze wyobrażone jako dokładnie proste, kiedy przechodzą tylko przez ciało przeźroczyste, które jest wszędzie jednakowe, ale gdy napotykają jakieś inne ciała, to zmieniają przez nie bieg lub są osłabione, tak samo jak ruch piłki lub kamienia rzuconego w powietrze przez te, które napotykają. Łatwo jest bowiem uwierzyć, że działanie lub skłonność do poruszania się, o której mówiłem, że powinna być wzięta za światło, musi podlegać tym samym prawom, co ruch. A wreszcie, bym mógł dobrze wyjaśnić to trzecie porównanie, wyobraźcie sobie, że ciała, które w ten sposób może napotkać lecąca w powietrzu piłka, są albo miękkie, albo twarde, albo płynne; i że jeśli są miękkie, wtedy zatrzymują i całkowicie wyhamowują jej ruch, na przykład gdy zderza się z płótnem, piaskiem lub błotem; w innym wypadku, gdy są twarde, odbijają ją w drugą stronę, nie zatrzymując jej, i czynią to na różne sposoby. Ponieważ ich powierzchnia jest albo równa

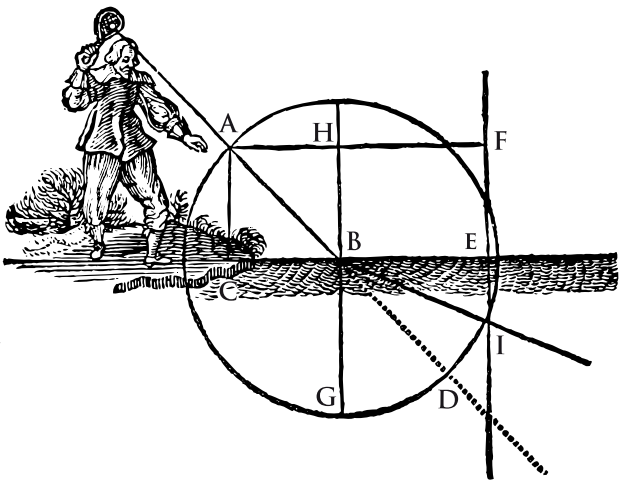
i gładka, albo szorstka i nierówna; i znowu, będąc równą, jest albo płaska, albo zakrzywiona; a będąc nierówną, jej nierówność polega na tym, że jest złożona z wielu różnie zakrzywionych części, z których każda jest w sobie dosyć gładka; czy też, poza tym, składa się z wielu różnych kątów lub punktów, lub części, z których jedna jest twardsza od drugiej, lub które poruszają się, i to z całą różnorodnością możliwą do wyobrażenia, na tysiąc sposobów. Należy wspomnieć, że piłka, prócz ruchu prostego i zwykłego, który przenosi ją z jednego miejsca w inne, może podlegać również innemu, który obraca ją wokół jej środka, i że prędkość tego może mieć wiele różnych proporcji z tamtą. Otóż, kiedy piłki lecące z tej samej strony napotykają ciało, którego powierzchnia jest całkiem gładka i równa, wtedy odbijają się równo i w tym samym porządku, tak iż jeśli powierzchnia jest całkiem płaska, to po zetknięciu z nią zachowują między sobą te same odległości, jakie miały wcześniej; a jeśli jest zakrzywiona od środka na zewnątrz, wtedy zbliżają się lub oddalają jedne do drugich, bardziej lub mniej, w tym samym porządku, zależnie od krzywizny. Widzicie tu piłki A, B, C, które po napotkaniu powierzchni ciał D, E, F odbijają się do G, H, I. Jeśli piłki napotkają nierówną powierzchnię, jak L lub M, to odbiją się w różne strony, każda według ukształtowania części dotykanej powierzchni. I nie zmieniają niczego w sposobie poruszania się, gdy nierówności powierzchni polegają tylko na różnorodnym zakrzywieniu części.

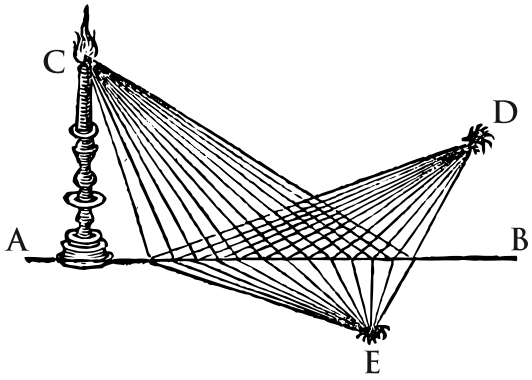
Ale mogą również polegać na wielu innych rzeczach i w ten sposób sprawiać, że jeśli piłki poruszały się



wcześniej tylko ruchem prostoliniowym, wtedy tracą jego część i w zamian zostają wprawione w obrotowy, który może mieć różne proporcje z tymi, które utrzymują prostoliniowy, zgodnie z tym, jak powierzchnia napotykanego przez nie ciała może być różnorodnie ułożona. Tego dobrze doświadczają ci, którzy grają w tenisa, kiedy ich piłka napotyka nierówności lub kiedy uderzają rakietą ukośnie, co jak mi się zdaje, nazywają podcinaniem lub podkręcaniem. Rozważcie wreszcie, że jeśli poruszająca się piłka uderza ukośnie powierzchnię ciała płynnego, przez które może przejść łatwiej lub trudniej niż przez to, z którego wychodzi, wtedy wchodząc w nie, zmienia swój bieg: na przykład, jeśli znajdującą się w powietrzu w punkcie A skierujemy do B, to przemieści się w linii prostej od A do B, chyba że

przeszkodzą jej w tym ciężar lub jakaś inna szczególna przyczyna; ale znajdując się w punkcie B, gdzie jak zakładam napotyka powierzchnię wody CBE, zmieni bieg do I, przemieszczając się odtąd po linii prostej od B do I, co łatwo sprawdzić doświadczalnie.



Zatem tak samo należy sądzić, że istnieją ciała, które napotkane przez promienie światła wstrzymują je, odbierając im całą ich siłę, mianowicie te, które nazywamy czarnymi, a które nie mają żadnego innego koloru poza ciemnościami; i że są inne, które odbijają je, jedne w tym samym porządku, w jakim otrzymują je, mianowicie te, które mając powierzchnię całkiem gładką, mogą służyć jako zwierciadła, zarówno płaskie, jak i zakrzywione; inne zaś bezładnie na wiele stron; i że znowu, między tymi, jedne odbijają promienie, nie zmieniając nic w ich działaniu, mianowicie te, które nazywamy białymi, drugie przynoszą zmianę podobną do tej, jakiej podlega ruch podciętej piłki, mianowicie te czerwone lub żółte, lub niebieskie, lub jakiegoś innego takiego koloru. Myślę bowiem, że mogę określić, jaka jest natura każdego z kolorów i pokazać to doświadczalnie,

co jednak wykracza poza granice mojego badania. Wystarczy tutaj uprzedzić was, że promienie, które padają na ciała kolorowe i nierówne, zazwyczaj odbijają się we wszystkie strony, nawet jeśli wychodzą tylko z jednej strony; jak znowu te, które padają na powierzchnię ciała białego AB, wychodzą tylko z płomienia C, a jednak odbijają się we wszystkie strony; do jakiegoś miejsca, w którym umieścimy oko, na przykład do D, biegnie wiele promieni z każdego miejsca powierzchni AB. Tak samo, jeśli założymy, że to ciało jest bardzo cienkie, jak papier czy płótno, tak by światło mogło przez nie przejść, zaś oko umieszone zostanie po drugiej stronie płomienia, na przykład w E, wtedy odbije do niego kilka promieni z każdej części tego ciała. Rozważcie wreszcie, że promienie również zmieniają kierunek, tak samo jak wspomniana piłka, kiedy napotykają ukośnie powierzchnię ciała przeźroczystego, przez którą przenikają z większą lub mniejszą łatwością niż przez to, z którego biegną, i ten sposób zmiany kierunku nazywa się refrakcją.