

Pabjan, Tadeusz

Zasada względności ruchu w nauce przedkopernikańskiej

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 53/1, 105-121

2008

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Tadeusz Pabjan
Wydział Teologiczny
Papieskiej Akademii Teologicznej
w Krakowie
sekcja w Tarnowie

ZASADA WZGLĘDNOŚCI RUCHU W NAUCE PRZEDKOPERNIKAŃSKIEJ

Do najważniejszych pojęć współczesnej nauki należy pojęcie względności, które za sprawą Einsteina urosło do rangi symbolu rewolucji naukowej, związanej ze szczególną i ogólną teorią względności. Pojęcie względności nie zostało jednakże „wymyślone” przez Einsteina; idea relatywizmu była obecna w filozoficznej i naukowej refleksji na długo przed „rewolucją Einsteinowską”. Relatywizm pojawił się już w starożytności jako pewna intuicja, związana z filozoficzną refleksją nad ludzkim poznaniem oraz nad budową wszechświata. Do dzisiaj nie znaleziono jednakże jednoznacznej odpowiedzi na pytanie o to, kto zasługuje na miano „pierwszego relatywisty”¹. Prehistoria pojęcia względności uwikłana jest w dwa niezależne wątki: relatywizmu epistemologicznego oraz relatywizmu fizycznego.

Jeśli chodzi o relatywizm epistemologiczny, to wydaje się, że pierwszymi przedstawicielami tego stanowiska byli greccy sofisci (V w. p.n.e.). Ich relatywizm wyrażał się w tezie o niemożności ustalenia prawd absolutnie prawdziwych: każde (w zasadzie) twierdzenie jest „z pewnego punktu widzenia” prawdziwe, z innego zaś – fałszywe². W podobnym duchu utrzymane były poglądy Protagorasa (485–411 p.n.e.), który twierdził, że ludzkie spostrzeżenia są względne, ponieważ względna jest sama rzeczywistość. Materia, będąca podłożem

rzeczywistości, posiada wiele natur, skutkiem czego rzeczywistość wykazuje rozbieżne, czy nawet sprzeczne własności. Z tego powodu sądy o rzeczywistości mogą być względne, to znaczy prawdziwe i zarazem rozbieżne³.

Dla naukowego obrazu świata o wiele większe znaczenie od relatywizmu epistemologicznego miał relatywizm fizyczny. Początki tej doktryny związane są z wprowadzeniem do starożytnej kosmologii idei geosferyzmu. Koncepcja kulistego kształtu Ziemi pojawiła się w VI w. p.n.e. w szkole pitagorejskiej, najpierw jako teza filozoficzna, później – jako prawidłowość odniesiona do astronomii⁴. Kulistość Ziemi domaga się przyjęcia założenia, że kierunki „góra” i „dół” są pojęciami względnymi. To, co dla nas jest „góram”, dla mieszkańców antypodów jest „dołem” – i odwrotnie; „dół” i „góram” można rozróżnić tylko względem Ziemi („dół” wyznacza kierunek „w stronę” Ziemi, a „góram” – kierunek przeciwny), zaś w ogólności – np. w przestrzeni kosmicznej – rozróżnienie to traci sens⁵. Autorem, który dokładnie przeanalizował intuicję, dotyczącą względności kierunków, jest Arystoteles (384–322 p.n.e.). W II księdze *O niebie*, rozważając relację pomiędzy pojęciami „góram”, „dół”, „na prawo”, „na lewo”, Stagiryta stwierdza, że pojęcia te nie są absolutne, ponieważ zawsze „odnosimy je do nas samych”⁶.

Drugim – obok względności kierunków – zagadnieniem, z którym związane są początki fizycznego relatywizmu, jest zasada względności ruchu. Zgodnie z tą zasadą, o ruchu dowolnego obiektu można orzekać jedynie przy wyraźnym określeniu układu odniesienia, w stosunku do którego ruch się odbywa. Obiekt może poruszać się względem jednego układu i zarazem spoczywać względem innego, dlatego nie można mówić o ruchu „w ogóle”, ale jedynie o ruchu „względem określonego układu odniesienia”. Zasada względności ruchu zajmuje szczególne miejsce w teoriach Kopernika, Galileusza i Newtona, współcześnie zaś stanowi ona jedno z podstawowych praw przyrody, respektowanych zarówno w mechanice klasycznej, jak i w teorii względności. W niniejszym artykule przedstawione zostaną najważniejsze etapy kształtowania się tej zasady w filozoficzno–naukowej refleksji nad funkcjonowaniem mechanizmu świata. Opracowanie to obejmie swym zasięgiem okres starożytności i średniowiecza, a zakończone zostanie na bezpośrednich poprzednikach Kopernika, którzy odwoływali się w swoich dziełach do zasady względności ruchu⁷.

1. STAROŻYTNOŚĆ

Wydaje się, że zjawisko względności ruchu było tak samo oczywiste w starożytności, jak jest oczywiste dzisiaj. Historia nauki pokazuje jednakże, iż pomiędzy „oczywistością” jakiegoś fenomenu a nadaniem mu charakteru odpowiednio ogólnej zasady jest długa droga. Z dużą dozą prawdopodobieństwa

można się domyślać, że jeśli dwaj starożytni obserwatorzy jechali tym samym rydwanem, to nie mieli żadnych wątpliwości co do tego, że pozostają w spoczynku *względem* siebie, ale zarazem poruszają się *względem* przydrożnych drzew. Do odkrycia tego typu „zasady” nie potrzeba szczególnie wyrafinowanych pojęć ani schematów logicznego rozumowania; wystarczy uważna obserwacja otoczenia. Być może jednak to właśnie „oczywistość” tego spostrzeżenia powodowała, że zjawisko względności ruchu przez długi czas było traktowane przez starożytnych autorów jako coś, czemu nie warto poświęcać uwagi. Innym powodem tego stanu rzeczy był zapewne fakt, iż „we wszystkich cywilizacjach przednaukowych ludzie zawsze mówili o »spoczynku« bądź »ruchu« ciał w sensie absolutnym, tzn. nie odczuwając najmniejszej potrzeby wskazywania układu odniesienia, względem którego ruch ma być rozważany”⁸. Nie wiadomo dokładnie, kto pierwszy zauważył, że oprócz „absolutnego” opisu spoczynku oraz ruchu ciał istnieje również opis „względny”, ale wszystko wskazuje na to, że problem układów odniesienia, które pozwalają na taki opis, pojawił się po raz pierwszy w starożytnych zagadnieniach astronomicznych (lub kosmologicznych). Oczywiście, sam termin „układ odniesienia” zaczęto stosować o wiele później. Można się domyślać, że intuicję związaną z tym pojęciem pierwotnie oddawało słowo „względem”, używane przy opisie ruchu ciał niebieskich. I tak na przykład wszyscy starożytni obserwatorzy nieba zauważali, że Słońce każdego dnia porusza się szybko *razem* z gwiazdami ze wschodu na zachód, ale porusza się też powoli *względem* gwiazd (wzdłuż ekliptyki) w kierunku wschodnim⁹. Co prawda, tego typu spostrzeżenie nie ujmowało jeszcze zasady względności ruchu, ale przejście od opisu ruchu, dokonywanego względem jakiegoś obiektu, do samej zasady było już tylko kwestią czasu.

Poza kontekstem astronomii i problemem ruchu ciał niebieskich, zasada względności ruchu została wyraźnie wyartykułowana przez Euklidesa (365–300 p.n.e.), który zauważył w swojej *Optyce*, że zjawisko ruchu uzależnione jest od spoczynku albo ruchu obserwatora. Teza Euklidesa brzmi następująco: „Jeśli w tym samym kierunku poruszają się oko i rozmaite ciała, przemieszczające się z różnymi prędkościami, ciała poruszające się z tą samą prędkością, co oko, uważane są za nieruchome, te o prędkości mniejszej zdają się cofać, a te o większej – pędzić w przód”¹⁰. Powyższa teza odegrała istotną rolę w starożytnej dyskusji nad naturą *fenomenów* (pozorów, spostrzeżeń), czyli tego, „co się pojawia” i co należy „ocalić”, to znaczy wyjaśnić. Euklides wykazuje, że wzrokowa percepcja fenomenów nie pozwala wyciągać wniosków o samym przedmiocie obserwacji, ale jedynie o relacji pomiędzy tym przedmiotem i obserwatorem¹¹. A zatem dane obserwacji (a szerzej: wszystkie wrażenia zmysłowe) nie stanowią ostatecznej instancji, która gwarantuje prawdziwość informacji o świecie zewnętrznym. Zjawiska trzeba dopiero „ocalić”, czyli „wytłumaczyć i sprowadzić do obiektywnych i ogólnych praw przyrodniczych, aby mogły być włączone

do nauki i straciły cechę »pozorów«¹². Chociaż Euklides nie odnosił swojej tezy bezpośrednio do zagadnień astronomicznych¹³, to jednak widać wyraźny związek jego twierdzenia z problemem interpretacji ruchów ciał niebieskich, zwłaszcza zaś planet: „ciała poruszające się z mniejszą prędkością” mogą bowiem oznaczać planety, które w fazie ruchów wstecznych „zdają się cofać”¹⁴.

Starożytna astronomia i problem interpretacji ruchu ciał niebieskich dostarczają najwięcej interesujących przykładów zastosowania zasady względności ruchu. Z oczywistych względów nadawanie współczesnej interpretacji historycznym modelom kosmologicznym w pewien sposób zniekształca oryginalne poglądy starożytnych autorów i pozwala w wielu przypadkach dopatrywać się ruchu względnego pomiędzy poszczególnymi elementami określonego modelu – tam, gdzie starożytni widzieli jedynie ruchy absolutne. Tak jest na przykład w przypadku ruchu obrotowego sfer niebieskich w systemie Arystotelesa, który z perspektywy dzisiejszej nauki można określić jako swego rodzaju „prototyp ruchu względnego”¹⁵. Analizując początki zasady względności ruchu warto jednak przyjrzeć się nie tyle współczesnym interpretacjom wczesnych teorii astronomicznych czy kosmologicznych, ile oryginalnym koncepcjom starożytnych i w ich interpretacjach szukać pierwowzoru rzeczzonej zasady.

Narodziny relatywistycznej koncepcji ruchu należy wiązać z pierwszymi teoriami, które przypisywały ruch Ziemi¹⁶. W teoriach tych zjawisko względności ruchu potraktowano jako argument przemawiający za możliwością ruchu Ziemi. Wydaje się, że jako pierwszy tego typu argumentem posłużył się któryś z przedstawicieli szkoły pitagorejczyków, najprawdopodobniej Hiketas z Syrakuz (ok. 400–335 p.n.e.), na którego powoływał się Kopernik w „Przedmowie” do swojego dzieła *O obrotach*. Zdaniem Kopernika, Hiketas twierdził, iż „oprócz Ziemi żadna rzecz we wszechświecie się nie porusza. Ona, obracając się i kręcąc dokoła osi z najwyższą prędkością, sprawia to wszystko, co miałyby miejsce, gdyby Ziemia stała, a niebo poruszało się”¹⁷. A zatem to wirowanie Ziemi, na skutek względności ruchu, postrzegane jest przez pozostających na jej powierzchni obserwatorów jako dobowy obrót całego nieba. Oprócz Hiketasa, Kopernik powołuje się też na Ekfantosa (ok. 400–340 p.n.e.), który objaśniał zjawisko wchodu i zachodu gwiazd obrotowym ruchem Ziemi; oraz na Filolaosa (ok. 470–399 p.n.e.), który oprócz wirowego ruchu Ziemi zakładał również jej roczny ruch wokół „centralnego ognia”, stając się w ten sposób „prekursorem teorii o podwójnym ruchu Ziemi – spinowym i orbitalnym”¹⁸.

Dobowy obrót Ziemi wokół własnej osi, który wyjaśnia pozorny ruch sfery niebieskiej, przyjmował również Heraklides z Pontu (388–315 p.n.e.). Nauczał on, że obserwator znajdujący się na wirującej Ziemi na skutek własnego ruchu postrzega wsteczny ruch wszystkich ciał niebieskich¹⁹. Interesującą i nowatorską tezą doktryny Heraklidesa było twierdzenie, że chociaż to Słońce obiega Ziemię, to jednak wokół Słońca krążą Merkury i Wenus. Z koncepcji tej wynika

zatem, że niektóre planety mogą okrążyć Słońce, co – przy założeniu wirowego ruchu Ziemi, umieszczonej przez Heraklidesa w centrum świata – stwarza dodatkowe możliwości wyjaśnienia widomych ruchów planet w oparciu o zasadę względności ruchu.

Zgodnie z relacjami wielu starożytnych autorów, teorię przypisującą Ziemi roczny ruch wokół Słońca i dobowy ruch wokół własnej osi, jako pierwszy sformułował wyraźnie Arystarch z Samos (320–250 p.n.e.)²⁰. Według Plutarcha, Arystarch, głosząc koncepcję podwójnego ruchu Ziemi, chciał „ocalić zjawiska”, czyli wyjaśnić obserwowane z Ziemi ruchy ciał niebieskich. Nietrudno się domyślić, że w modelu tym „ocalenie” (wyjaśnienie) potrzebne jest przede wszystkim w odniesieniu do ruchu planet. Wyjaśnienie Arystarcha miało formę dokonywania „demonstracji” (ilustracji) zjawisk²¹. Zdaniem L. Russo, „demonstracje” stanowiły pierwowzór mechanicznego planetarium i polegały na „pokazaniu, że obserwowane złożone ruchy planet, z ich zatrzymaniami i cofnięciami, mogą być wynikiem kombinacji dwóch prostych, jednostajnych ruchów kolistych wokół Słońca: ruchu przyjętego dla Ziemi i drugiego, analogicznego dla planety”²². Nie wiadomo, czy sam Arystarch zbudował ruchome planetarium, czy poprzestał jedynie na teoretycznym wyjaśnieniu widomego ruchu planet. Co istotne, hipoteza Arystarcha o dwojakim ruchu Ziemi rzeczywiście pozwalała skutecznie „ocalić zjawiska”, to znaczy wyjaśnić realnie obserwowane ruchy ciał niebieskich; spełniała zatem postulat, dotyczący teoretycznego wyjaśniania fenomenów²³. Zgodnie z tym postulatem, hipoteza mogła być dziwna i odległa od intuicji, mogła nawet nie być bezpośrednio weryfikowalna, ale powinna umożliwiać logiczne dedukowanie z niej fenomenów. Teoria Arystarcha i postulowana przez nią zasada względności ruchu dawała tego typu hipotezę²⁴.

Jeśli wierzyć Cyceronowi, mechaniczny model Układu Słonecznego zbudował Archimedes (287–212 p.n.e.), chociaż nie ma pewności, czy było to planetarium heliocentryczne czy geocentryczne²⁵. Planetarium to w następujący sposób charakteryzuje Cycero: „Na tym też polega godny podziwu wynalazek Archimedes, który wymyślił sposób, w jaki za pomocą jednego obrotu można było ukazać nierówne co do długości, mające różne kierunki, drogi gwiazd”²⁶. Jak widać, planetaria doskonale „demonstrowały” zasadę względności ruchu: stosunkowo prosty mechanizm pozwalał wykazać, że obserwowane ruchy sfery gwiazd stałych, a także ruchy planet, można wyjaśnić w prosty sposób, „przekazując” ruch Ziemi. Warto zauważyć, że w przypadku mechanicznych planetariów, które miały za zadanie „ocalenie zjawisk”, zasada względności ruchu zostaje zademonstrowana niezależnie od tego, czy planetarium jest heliocentryczne, czy geocentryczne. Ta ostatnia racja przemawia za tym, że planetarium Archimedes, nawet jeśli było geocentryczne, to jednak prezentowało ono względny ruch Ziemi, i że właśnie w taki sposób pojmował ruch naszej planety Archimedes: „nie w sensie absolutnym, lecz względem gwiazd stałych”²⁷.

Elementy relatywistyczne pojawiają się również u Ptolemeusza (ok. 100–165 n.e.). Wiele racji przemawia za tym, że astronom ten doskonale znał zasadę względności ruchu²⁸. Jego główne dzieło – *Almagest* – usankcjonowało na długie wieki system geocentryczny, w którym nieruchoma, kulista Ziemia umieszczona została w geometrycznym centrum wszechświata. Paradoksalnie, symetria kosmologicznego modelu Ptolemeusza sprawia, że chociaż przestrzeń tego modelu ma cechy przestrzeni absolutnej, to jednak „relatywistyczne argumenty leżą u samych podstaw systemu Ptolemeusza”²⁹. Pojęcie symetrii sferycznej jest bowiem ściśle związane z pojęciem względności: sferyczny kształt wszechświata domaga się naturalnego centrum, którym jest środek kulistej Ziemi, jednakże taki układ modelu zakłada izotropowość przestrzeni i prowadzi do wniosku o względności obserwacji dokonywanych na powierzchni sferycznej Ziemi³⁰. Wszystkie kierunki we wszechświecie należy zatem uznać za względne, „bowiem nie ma żadnego »poniżej« ani »powyżej« we wszechświecie w stosunku do niego samego. Podobnie i do sfery nic takiego nie można pomyśleć”³¹. Jest to niewątpliwie „klasyczny relatywistyczny tekst” w dziele Ptolemeusza³². Analizując argument ze względności ruchu, formułowany przez zwolenników obrotu dobowego Ziemi, Ptolemeusz – będący przeciwnikiem takiej teorii – stwierdza lojalnie, że daje się ona pogodzić z obserwowanymi ruchami ciał niebieskich. Obroty można bowiem przypisać zarówno Ziemi, jak i sferze gwiazd stałych, a nawet im obojgu równocześnie, byleby tylko obydwie rotacje dokonywały się wokół tej samej osi i byleby dała się zaobserwować różnica pomiędzy nimi – czyli ich ruch względny³³. Żeby odeprzeć przytoczony argument ze względności ruchu i utrzymać własną tezę o nieruchomości Ziemi, Ptolemeusz musiał się uciec do racji filozoficznych, zaczerpniętych po większej części z dzieł Arystotelesa³⁴.

Poza kontekstem filozofii i astronomii zagadnienie względności ruchu pojawia się często w dziełach o charakterze literackim. Wielu autorów ilustrowało względność ruchu odwołując się do klasycznego przykładu statku płynącego po rzece lub po morzu. Najczęściej cytowanym tego typu opisem jest fragment dzieła Lukrecjusza (99–55 p.n.e.), w którym podróżnym wydaje się, że statek, którym płyną, stoi w miejscu, a przesuwają się brzeg³⁵. Analogiczny przykład z okrętem, który odbija od portu, zamieszcza w jednym ze swoich dzieł Wergiliusz (70–19 p.n.e.)³⁶. Jego tekst jest o tyle istotny, że powołuje się na niego w wykładzie swojej teorii sam Kopernik³⁷.

Warto odnotować, że zasada względności ruchu funkcjonowała również poza kręgiem kultury europejskiej. W VI wieku n.e. zasada ta została wyraźnie artykułowana (w odniesieniu do widomego ruchu nieba) w tekście mało znanego indyjskiego astronoma o nazwisku Aryabhata (476–550 n.e.)³⁸. W części poświęconej zagadnieniom astronomicznym swego dzieła *Aryabhatiya* autor ten omawia ruch Słońca, Księżycy i planet, i zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi

sferycznej astronomii. Argumentem za tym, że Ziemia obraca się wokół swojej osi jest dla niego względność ruchu: „Tak samo jak człowiek płynący łodzią widzi, że nieruchome obiekty (po obydwu stronach rzeki) poruszają się do tyłu, tak i nieruchome gwiazdy ludzie w Lanca (miejsceowość na równiku – *przyp. T.P.*) widzą jako te, które poruszają się w kierunku zachodnim”³⁹. Jak widać, zasada względności ruchu, zilustrowana przykładem z obszaru podksiężycowego, zostaje tu zastosowana do wyjaśnienia ruchu ciał niebieskich. W obszarze nadksiężycowym obowiązują zatem te same prawa, które rządzą zachowaniem ciał na ziemi. Niezwykłość tego wniosku wynika z faktu, że został on sformułowany na 12 wieków przed teorią Newtona, która ostatecznie zlikwidowała uświęcony tradycją starożytnej filozofii podział na świat podksiężycowy i nadksiężycowy.

2. ŚREDNIOWIECZE

Wczesne średniowiecze nie pozostawiło żadnych lub prawie żadnych świadectw, dotyczących omawianego zagadnienia. Dopiero w późnym okresie wieków średnich zaczęto na nowo odkrywać starożytne argumenty za względnością ruchu oraz formułować nowe teorie, w których zasada względności ruchu pojawia się zarówno w kontekście koncepcji astronomicznych, jak i nowych, rodzących się dopiero, pojęć z zakresu nowożytnej kinematyki i dynamiki. Istnieją pewne racje za tym, by analizę nowożytnej zasady względności ruchu rozpocząć od Wilhelma Ockhama (1290–1350), bo chociaż nie zajmował się on wprost omawianą zasadą, to jednak jego poglądy (jako nominalisty) dotyczą tego zagadnienia. Ockham poddał krytyce arystotelesowską koncepcję ruchu, jednakże sam nie zaproponował żadnej wartościowej teorii, która wyjaśniałaby to pojęcie. Według Ockhama, ruch nie jest czymś realnym; pojęcie to jest jedynie „terminem współoznaczającym”, który wskazuje na pewne trwałe czynniki, pochodzące ze świata zewnętrznego, a jednocześnie oznacza negację innych tego typu czynników⁴⁰. Sam proces ruchu można określić jako stopniowe oddalanie się będącego w ruchu obiektu od pewnego punktu lub ciała, stanowiącego układ odniesienia. Ruch jest identyczny z ciałem, bo nie może istnieć sam ruch bez ciała⁴¹. Zagadnienie względności ruchu pojawia się u Ockhama w związku z jego krytyką koncepcji nieruchomych sfer niebieskich: ruch obserwatora, który znajduje się na Ziemi, jest w rzeczywistości ruchem względnym, ponieważ nawet jeśli znajduje się on w ruchu, to w istocie nie zmienia on swego położenia w stosunku do świata. Jedyne stałymi punktami odniesienia mogą bowiem być bieguny sfer niebieskich, które są nieruchome⁴².

Koncepcję Ockhama rozwinął jego uczeń, Jan Burydan (1292–1358), który przeszedł do historii nauki jako twórca koncepcji ruchu, znanej pod nazwą teorii impetu⁴³. Jeśli chodzi o zagadnienie względności ruchu, to Burydan wychodził

w swych analizach od zaczerpniętego od Arystotelesa rozróżnienia pomiędzy nieruchomym miejscem i ruchomym naczyniem, i rozpatrywał dwa przypadki: dynamiczne i statyczne ujęcie miejsca⁴⁴. Ujęcie dynamiczne ma miejsce wtedy, gdy „ciało obejmujące” porusza się razem z „ciałem obejmowanym” (np. woda rzeki płynie wraz z zanurzonym w niej statkiem), ujęcie statyczne – gdy „ciało nie porusza się w stosunku do swego zajmowanego miejsca, które w czasie ruchu jest ciągle to samo”⁴⁵. Ciało można zatem rozpatrywać w dynamicznym i statycznym aspekcie miejsca, i za każdym razem jego relacja do otoczenia jest inna. Konsekwencją takiego zabiegu jest względność samego ruchu⁴⁶. Burydan wyraża ten fakt następująco: „O ile naczynie porusza się wraz z zawartością, czyli z ciałem w nim zawartym, to miejsce w drugim znaczeniu jest nieruchome, gdyż ciało z powodzeniem może przejść z jednego miejsca w drugie i przy tym nie zauważymy, aby miejsce poruszało się wraz z ciałem”⁴⁷. Orzekając o ruchu danego ciała, czyli stwierdzając zmianę zajmowanego przez to ciało „miejsca”, stwierdzamy jedynie zmianę jego relacji do innych ciał. Ruch jest „terminem relatywnym”, który oznacza odniesienie jednego przedmiotu do drugiego⁴⁸. Aby stwierdzić ruch jakiegoś ciała, nie jest zatem potrzebne inne, absolutnie nieruchome ciało, takie jak sfera gwiazd stałych (lub Ziemia, w przypadku teorii geostatycznej). Wystarczy przyjąć, że ciało stanowiące układ odniesienia w danym momencie spoczywa i rozpatrywać ruch ciała względem tego układu. Jako wymowną ilustrację zasady względności ruchu Burydan przywołuje znany przykład poruszającego się okrętu⁴⁹.

Odnosząc swoje rozważania do kwestii ruchu Ziemi, Burydan uznał w *Questiones De coelo et mundo* dzienny obrót Ziemi za prawdopodobny⁵⁰, jednakże ostatecznie odrzucił tę hipotezę, traktując ją jedynie jako ćwiczenie scholastyczne⁵¹. Co prawda, względność ruchu powoduje, iż obserwacja samych ciał nie pozwala rozstrzygnąć, czy w ruchu jest niebo, czy Ziemia; co więcej, przy zatrzymaniu sfery gwiazd stałych i poruszeniu Ziemi wszystkie zjawiska na niebie zachodziłyby tak samo, jak w modelu geostatycznym, a obserwator pozostający na obracającej się Ziemi byłby nieświadomy swego ruchu. Nie można jednak – zdaniem Burydana – przyjąć ruchu Ziemi, gdyż nie występują zjawiska, jakie powinny towarzyszyć takiemu ruchowi. Strzała wystrzelona pionowo w górę spada na miejsce, z którego została wystrzelona, a na wirującej Ziemi powinna – zgodnie z teorią impetu – upaść na zachód od tego miejsca⁵². Hipoteza ruchomej Ziemi sprzeciwia się ponadto „autorytetowi Arystotelesa i wszystkich astronomów”⁵³.

Najbardziej wnikliwą analizę zagadnienia względności ruchu w całym okresie pomiędzy nauką starożytną i nowożytną przeprowadził uczeń Burydana, Mikołaj z Oresme (1320–1382), w dziele zatytułowanym *Le livre du ciel et du monde*. Niektóre twierdzenia dotyczące względnego ruchu Ziemi są u niego szerzej rozwinięte i mocniej sformułowane niż u Kopernika⁵⁴, ale żaden z jego argumentów nie miał wprost dowodzić ruchu Ziemi. Mikołaj z Oresme był przekonany, że Ziemia

jest nieruchoma; interesował go zatem nie tyle „rzeczywisty” ruch Ziemi, co jego możliwość. W swoich analizach chciał wykazać, że żadna argumentacja – logiczna, fizyczna, czy oparta na Biblii – nie może wykluczyć takiej możliwości. „Twierdzą więc – pisał – że jest rzeczą niemożliwą wykazać za pomocą jakichkolwiek obserwacji, iż niebo się porusza dziennym ruchem, a Ziemia nie ma tego ruchu”⁵⁵.

Jak wiadomo, Arystoteles twierdził, że w środku wszechświata musi istnieć centralne ciało, wokół którego obracają się sfery niebieskie i względem którego odbywają się naturalne ruchy Słońca, Księżycy i planet. Mikołaj z Oresme uznał, że ruchy zarówno sfery gwiazd stałych, jak i ciał niebieskich, są w istocie ruchami względnymi. Taki charakter mają nawet „naturalne” ruchy ciał, które – zgodnie z doktryną Arystotelesa – zmierzają w stronę środka świata. Chociaż bowiem na Ziemi kierunki „w przód” i „w tył”, a także „na prawo” i „na lewo” mają charakter absolutny, to jednak „te cztery różnice na niebie nie są absolutne i rzeczywiście odmienne, lecz tylko względne”⁵⁶. Przestrzeń jest nieskończona, dlatego nie potrzeba przyjmować istnienia ani sfery gwiazd stałych, ani stałego środka wszechświata, z którym byłyby związane „naturalne” ruchy grawitacyjne. Ciężkość nie jest bowiem skłonnością ciał do kierowania się ku środkowi wszechświata, ale ku środkowi masy materii⁵⁷. Z tego powodu nie istnieje „absolutny kierunek” ciężkości, który obowiązywałby w całej przestrzeni.

Zdaniem Mikołaja z Oresme, względność ruchu powoduje, iż dziennego obrotu niebios nie można uważać za dowód nieruchomości Ziemi. Jedynie w przypadku obracającego się koła konieczną rzeczą jest, by istniał jakiś urojony punkt matematyczny, pozostający w spoczynku w środku koła. Tego typu stały, wyróżniony punkt nie jest potrzebny w przypadku lokalnego (względnego) ruchu ciał⁵⁸. „Ruch lokalny – pisze Mikołaj – dostrzec można tylko wówczas, gdy jedno ciało zmienia swoje położenie względem drugiego”⁵⁹. Poprawności tego rozumowania dowodzi znany przykład z łodziami, które płyną z różnymi prędkościami, a także eksperyment myślowy, w którym Ziemia przez jeden dzień obraca się w przestrzeni, a sfera gwiazd stałych pozostaje nieruchoma. W takim przypadku „nie zdołalibyśmy stwierdzić żadnej różnicy; wszystko wydawałoby się nam takie same dziś jak jutro”⁶⁰.

Względność ruchu sprawia, że w łatwy sposób można podważyć najbardziej popularny argument geostatyizmu, zgodnie z którym prosta obserwacja pozwala stwierdzić, iż niebo rzeczywiście wydaje się obracać, a Ziemia spoczywać. Wszelki obserwowany ruch jest ruchem względnym, dlatego tego typu argument nie ma żadnej wartości. „Przyjmuję – pisze Mikołaj z Oresme – że ruch lokalny można zaobserwować tylko o tyle, o ile można stwierdzić, iż jakieś ciało zmienia swoje położenie w stosunku do innego ciała”⁶¹. Sytuację obserwatora, znajdującego się na wirującej Ziemi, doskonale ilustruje przykład z łodziami⁶²: obserwator płynący łodzią, który obserwuje inną łódź, nie może stwierdzić, czy

porusza się jego własna łódź, czy ta z przeciwka. Co istotne, obserwator ma tendencję do uznawania nieruchomości swojego własnego „układu odniesienia”, skutkiem czego za każdym razem wydaje mu się, że porusza się wszystko poza nim samym. Podobnie jest z ruchem nieba. Gdyby umieścić obserwatora na sferze niebieskiej, która porusza się ruchem dziennym, to „będzie mu się wydawać, że Ziemia porusza się ruchem dziennym, tak jak nam na Ziemi wydaje się, że niebo jest w ruchu. Podobnie, gdy Ziemia porusza się ruchem dziennym, a niebo nie porusza się, nam wydaje się, że Ziemia jest w spoczynku, a niebo znajduje się w ruchu”⁶³.

Jak widać, powyższe argumenty w całości oparte są na zasadzie względności ruchu. Wszystko wskazuje na to, że Mikołaj z Oresme był świadom tego, iż zerwanie z geostatyzmem i przyjęcie wirowego ruchu Ziemi nie zrujnowałoby astronomii: wszystkie obliczenia i tabele astronomiczne zachowałyby swoją ważność. Jediną różnicą byłoby uznanie, że dzienny obrót jest rzeczywisty w odniesieniu do Ziemi, a pozorny w odniesieniu do nieba⁶⁴. Co więcej, ruch taki byłby prostszy, zwiększyłaby się harmonia systemu, nie byłaby też konieczna dziewiąta sfera dla wyjaśnienia zjawiska precesji⁶⁵. Są to pozytywne argumenty Mikołaja z Oresme na korzyść ruchu Ziemi. Niestety, argumenty te ostatecznie nie przekonały Mikołaja, który zadeklarował: „Niemniej jednak każdy utrzymuje i ja tak myślę, że ono [niebo] porusza się a nie Ziemia, albowiem Bóg utwierdził Ziemię tak, że się nie porusza”⁶⁶.

Drugim – obok Mikołaja z Oresme – uczniem Burydana był Albert Rickmersdorf z Saksoni (1316–1390). Podobnie jak inni przedstawiciele szkoły burydanowskiej twierdził on, że zjawisko ruchu ma charakter względny, to znaczy, że jest uzależnione od spoczynku bądź ruchu obserwatora⁶⁷. W swoim komentarzu do dzieł Arystotelesa zaprezentował on – podobnie jak Mikołaj – liczne argumenty za wirowym ruchem Ziemi, jednakże również i on odrzucił możliwość przyjęcia takiego ruchu⁶⁸. Wbrew argumentom Mikołaja z Oresme, Albert Rickmersdorf twierdził, iż względność ruchu nie wystarcza do zarzucenia geostatyizmu, ponieważ „nie możemy w żaden sposób, uznając ruch Ziemi i spoczynek nieba, zachować koniunkcji i opozycji planet, jak również zaćmień Słońca i Księżycy”⁶⁹.

Do kontynuatorów tradycji burydanowskich, którzy analizowali względność ruchu, należy również Mikołaj z Kuzy (1401–1464). Jest on znany głównie z powodu swojej doktryny o nieskończonym wszechświecie i o wielości światów. Pierwsza z tych koncepcji ściśle wiąże się z zagadnieniem względności ruchu. Mikołaj z Kuzy twierdził, iż przestrzeń nie może mieć ani „granic”, ani „środków”; umieszczanie Ziemi w centrum wszechświata jest zatem bezpodstawne. „Środkiem” świata nie może być również ani Słońce, ani żadne inne ciało niebieskie, ponieważ „jest niemożliwe, aby machina świata miała za stałe i nieruchome centrum czy to Ziemię, czy cokolwiek innego [...] Jak więc Ziemia nie

jest środkiem świata, tak też sfera gwiazd stałych nie jest jego obwodem⁷⁰. Nieskończoność przestrzeni powoduje, iż wszystkie obserwowane ruchy są względne. Punkt obserwacji z zasady bowiem traktuje się jako środek wszechświata i centralny „układ odniesienia”⁷¹.

Zdaniem Mikołaja z Kuzy, dopuszczalne jest zarówno twierdzenie, że Ziemia się porusza, jak i to, że Ziemia spoczywa. Ruch spostrzegamy bowiem jedynie przez porównanie z „czymś stałym”, natomiast w nieskończonym wszechświecie nie ma tego typu „stałego” (absolutnego) układu odniesienia. Podobnie jak jego poprzednicy, również i Mikołaj z Kuzy wyjaśnia ten fakt przez odwołanie się do przykładu z okrętem: „Ziemia porusza się rzeczywiście, chociaż to się nam nie wydaje, bo nie spostrzegamy ruchu inaczej jak przez pewne porównanie z czymś stałym. Jeśliby ktoś, będąc wśród wody na statku nie wiedział, że woda płynie i nie widział brzegów, jakim by dostrzegł sposobem, że statek się porusza? I dlatego, ponieważ zawsze wydawałoby się każdemu, czy byłby na Ziemi, czy na Słońcu albo innej gwiazdzie, że sam jest w środku jakby nieruchomym, a wszystko inne się porusza, więc ustanawiałby sobie z pewnością wciąż inne bieguny”⁷². Przytoczone argumenty Mikołaja z Kuzy były – wedle wszelkiego prawdopodobieństwa – znane Kopernikowi, chociaż wydaje się, że nie miały zasadniczego znaczenia dla sformułowania jego teorii⁷³.

Analizując przedkopernikańskie sformułowania zasady względności ruchu, warto zauważyć również dwóch uczonych polskiej proweniencji, którzy w swoich dziełach analizowali tę zasadę: Witelona i Wojciecha z Brudzewa. Pierwszy z nich żył w XIII w. na Śląsku (ok. 1230–1314), a jego najbardziej znanym dziełem jest *Perspectiva*. Witelon zawarł w nim niemal wszystkie ówczesne wiadomości z zakresu optyki. Wiele miejsca poświęcił tam analizie praw rządzących propagacją światła, dokładnie opisał również złudzenia powstające przy ocenie ruchu i spoczynku ciała, wskazując na konieczność uwzględnienia względności odległości, wielkości przedmiotu, etc.⁷⁴. W księdze IV swojego dzieła Witelon podaje przykład złudzenia optycznego, powstałego podczas obserwacji łądu, dokonywanej z płynącej łodzi. Ponieważ obserwowany ruch jest względny, dlatego człowiek płynący łodzią nie dostrzeże swego ruchu, jeśli na zewnątrz nie będzie żadnego nieruchomego punktu odniesienia⁷⁵. Bardzo prawdopodobne, że przykład z okrętem – przywoływany przez większość omawianych autorów – Witelon zaczerpnął z dzieła *De aspectibus* Alhazena⁷⁶ (ok. 965–1039). W ten sposób do grona autorów, odwołujących się do zasady względności ruchu, trafia również i ten arabski matematyk i astronom, który przeszedł do historii nauki jako pionier optyki⁷⁷.

Niecałe dwa wieki po Witelonie zagadnienie względności ruchu analizował Wojciech z Brudzewa (1445–1495). Był on wykładowcą na Uniwersytecie Krakowskim i zgodnie z tradycją utrwaloną przez J. Brożka, w latach 1491–1495 jego uczniem był Mikołaj Kopernik⁷⁸. Akademia Krakowska była w tym okresie

pod silnym wpływem burydanizmu i w jego duchu wyjaśniano tu zjawisko ruchu, zaś podstawę interpretacji dzieł Arystotelesa stanowiły wspomniane już komentarze Alberta z Saksonii, Burydana i Mikołaja z Oresme⁷⁹. Nic zatem dziwnego, że również i w Krakowie interesowano się ruchem Ziemi i dyskutowano kwestie poruszane przez burydanistów, i że w dyskusję tę włączył się Wojciech z Brudzewa. Zagadnienie względności ruchu poruszył on w *Komentarzu do „Nowych teoretyk planet” J. Peuerbacha*⁸⁰. Wskazywał tam, że ruch jest zależny od pozycji obserwatora: w zależności od jego spoczynku lub ruchu obiekt poruszający się będzie się mu przedstawiał inaczej. W uzasadnieniu Wojciech z Brudzewa podawał przykład łodzi lub wozu, które mogą mieć „podwójny ruch” w zależności od układu odniesienia⁸¹. A. Birkenmajer, porównując tekst komentarza Wojciecha i tekst *De revolutionibus*, wskazuje w tym miejscu na wyraźną zależność dzieła Kopernika od traktatu Brudzewskiego⁸², co może świadczyć o tym, że przynajmniej niektóre argumenty, dotyczące zasady względności ruchu, Kopernik zaczerpnął od swego nauczyciela.

* * *

Zasada względności ruchu daje proste i zarazem przekonujące wyjaśnienie obserwowanego ruchu ciał niebieskich. Tłumaczy ona, iż ruchy te są w rzeczywistości wynikiem ruchu Ziemi i pozostającego na niej obserwatora, oraz usuwa zasadnicze sprzeczności tkwiące w fizycznym układzie sfer geocentrycznych i w skomplikowanym systemie epicykli, deferentów i kół mimośrodowych⁸³. W języku współczesnej fizyki zastosowanie zasady względności ruchu sprowadza się do przeniesienia układu odniesienia z jednego obiektu na inny. W odniesieniu do ciał Układu Słonecznego transformacja ta oznacza związanie początku układu odniesienia ze Słońcem zamiast z Ziemią. To właśnie ten zabieg stanowi istotę „rewolucji Kopernikowskiej”⁸⁴, która dała impuls do gwałtownego rozwoju nauki nowożytnej.

Dalekosiężne skutki przeniesienia układu odniesienia z Ziemi na Słońce powodują, iż Kopernikowi nadaje się często tytuł „pierwszego relatywisty”, przypisując mu zarazem „odkrycie” lub „sformułowanie” zasady względności ruchu⁸⁵. Jak wynika z niniejszego opracowania, pogląd ten jest zasadniczo błędny. Zasada względności ruchu sięga swymi korzeniami do początków nauki greckiej, a jej wyraźne sformułowania w dziełach omawianych tutaj autorów świadczą o tym, iż zagadnienie względności ruchu było znane na wiele wieków przed rewolucją kopernikańską. I chociaż to właśnie Kopernik przeszedł do historii jako ten, który „wstrzymał Słońce i poruszył Ziemię”, to jednak wydaje się, że przynajmniej część „zasług”, związanych z relatywizacją pojęcia ruchu, należy przypisać jego poprzednikom.

Historia zasady względności ruchu dostarcza wymownego przykładu ewolucji pewnych pojęć, które na przestrzeni wieków stopniowo uwalniały się z filozoficznych interpretacji, nadających im absolutny charakter. Do tego typu pojęć należy z pewnością pojęcie ruchu, które wraz z rozwojem naukowych poglądów na budowę i funkcjonowanie wszechświata nabierało powoli relatywnego charakteru. Jeśli rzeczywiście można mówić o „rewolucji kopernikańskiej”, oznaczającej relatywistyczne przeniesienie układu odniesienia z Ziemi na Słońce⁸⁶, to wydaje się, że zasadne będzie również stwierdzenie, iż odpowiedni grunt dla tej rewolucji przygotowywany był przez długi okres czasu, od starożytności przez całe średniowiecze – tak długo, aż jej zasadnicze idee dojrzały na tyle, by dać impuls do zmiany naukowego paradygmatu. Wszystko wskazuje na to, że zasada względności ruchu odegrała istotną rolę w tej zmianie, ponieważ to właśnie dzięki niej zapoczątkowany został proces relatywizacji w naukowym pojmowaniu struktury świata fizycznego.

Przypisy

¹ Por. M. H e l l e r: *Wszechświat u schyłku stulecia*. Kraków 1994, s. 95–101.

² Por. E. S c h r ö d i n g e r: *Science Theory and Man*. Dover Publ. 1957, s. 117.

³ Por. M. B o r k o w s k i: *Przedmioty względne i bezwzględne*. „Przegląd Filozoficzny”, 1922, nr 25, s. 333; J. L e g o w i c z: *Historia filozofii starożytnej Grecji i Rzymu*. Warszawa 1986, s. 125–126.

⁴ Pogląd Pitagorasa (572–497 p.n.e.) o kulistym kształcie Ziemi wynikał z jego filozofii: Bóg, stwarzając Ziemię, nadał jej kształt figury najdoskonalszej, tzn. kuli. Tezę o kulistym kształcie Ziemi – już jako koncepcję astronomiczną – rozpowszechnił jeden z uczniów Pitagorasa, Parmenides (ok. 540–470 p.n.e.). W niektórych opracowaniach przeważa jednakże pogląd, że pierwszeństwo w odkryciu sferycznego kształtu Ziemi przysługuje nie Pitagorasowi, ale właśnie Parmenidesowi. Na ten temat, por. Z. E. R o s - k a l: *Astronomia matematyczna w nauce greckiej*. Lublin 2002, s. 64–66.

⁵ Por. B. G. K u z n i e c o w: *Otnositelnost*. Moskwa 1969, s. 11.

⁶ „Gdy i do tych rzeczy stosujemy określenia: „w górze i na dole”, „na prawo i na lewo”, odnosimy je do nas samych. [...] W samych przedmiotach nie dostrzegamy żadnej różnicy, bo skoro tylko one się obróć, nazwiemy przeciwne części stroną prawą i lewą, górną i dolną, przodem i tyłem”; A r y s t o t e l e s: *O niebie*, księga II, 2,285, [w:] *Dzieła wszystkie*, t. II. Warszawa 1990, s. 273.

⁷ Obszerne omówienie teorii astronomicznych, wspomnianych w niniejszym artykule można znaleźć np. w książkach J. N o r t h a : *Historia astronomii i kosmologii* (Katowice 1997) lub E. M. R o g e r s a (*Astronomia. Rozwój teorii astronomicznych*. Warszawa 1966).

⁸ L. R u s s o: *Zapomniana rewolucja. Grecka myśl naukowa a nauka nowoczesna*. Kraków 2005, s. 102.

⁹ Por. T. K u h n: *Przewrót kopernikański*. Warszawa 1966, s. 39–46.

¹⁰ E u k l i d e s: *Optyka*, teza 51.

¹¹ Por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 193.

¹² R.S. I n g a r d e n: *Mikołaj Kopernik i zagadnienie obiektywności praw naukowych*. Warszawa 1953, s. 53.

¹³ Co nie oznacza, że Euklides nie zajmował się zagadnieniami astronomicznymi i kosmologicznymi. Tej tematyce poświęcone jest jego dzieło *Phaenomena*. Na temat tego dzieła, por. J.L. B e r g g r e n, R.S.D. T h o m a s: *Euclid's „Phaenomena”: A Translation and Study of a Hellenistic Treatise in Spherical Astronomy*. New York-London 1996.

¹⁴ Teza Euklidesa znajdowała prostą interpretację w mechanizmie, który – jak sądzili starożytni – odpowiada za ruch planet: „Niektórzy filozofowie starożytni uzasadniali [...] uporządkowanie planet, wyobrażając sobie, że unoszą je gigantyczne wiry eteru, którego zewnętrzne warstwy poruszają się prędko wraz ze sferą gwiazdną, a warstwy wewnętrzne pozostają w spoczynku wraz z Ziemią. Każda planet unoszona przez taki wir tracić będzie tym więcej na dystansie względem sfery gwiazdnej, im bliżej Ziemi się znajduje”; T. K u h n, dz. cyt., s. 87.

¹⁵ Por. J. Ż y c i ń s k i, M. H e l l e r: *Wszechświat i filozofia*. Kraków 1980, s. 149–150. „Z każdym punktem sfery można związać układ odniesienia i wszystkie tego rodzaju układy odniesienia będą równouprawnione, a ruchy mierzone względem tych układów będą ruchami względnymi”; tamże, s. 150.

¹⁶ Por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 102–103.

¹⁷ Jest to odrębna notatka Kopernika, zapisana na karcie Historii Pliniusza; zob. J. W a s i u t y ń s k i: *Kopernik – twórca nowego nieba*. Warszawa 1938, s. 150. Informacje o Hiketasie i jego poglądach przekazał potomnym C y c e r o, który zanotował: „*Hicetas Syracosius, ut ait Theophrastus, ... supera ... omnia stare censet neque praeter terram rem ullam in mundo moveri, quae cum circum axem se summa celeritate convertat at torquet, eadem effici omnia, quae si stante terra caelum moveretur*”; *Academia priora*, księga II, § 123.

¹⁸ Por. K. Z a w i s z a: *Czerwona nić w dziejach kosmologii, czyli Filolaos z Krotonu*, cz. II, URL=http://gnosis.art.pl/e_gnosis/aurea_catena_gnosis/zawisza_czerwona_nic/zawisza_czerwona_nic02.htm.

¹⁹ Por. J. B a r y s z e w, P. T e e r i k o r p i: *Wszechświat. Poznawanie kosmicznego ładu*. Kraków 2005, s. 36.

²⁰ Informację taką podają m.in.: A r c h i m e d e s (*Arenarius*), P l u t a r c h (*O obliczu widniejącym na tarczy księżycy*), S i m p l i c j u s z (*In Aristotelis De caelo commentaria*); por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 99.

²¹ Taką informację podaje A r c h i m e d e s w dziele *Arenarius* (136, 1–2).

²² Por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 99.

²³ Zgodnie z koncepcją sformułowaną przez stoików, fenomen (fainómenon), czyli „pozór” występuje wtedy, gdy biernie wrażenie zmysłowe otrzymuje aktywne przyzwolenie podmiotu (świadome lub mimowolne); na temat tej koncepcji, por. tamże, s. 191–194.

²⁴ Por. tamże, s. 193–194. Por. też E.M. R o g e r s, dz. cyt., s. 69–70.

²⁵ Por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 99–103. Autor przytacza przekonujące argumenty za tym, że planetarium Archimedesza nie było geocentryczne, ale heliocentryczne.

²⁶ C y c e r o, *De re publica*, I, xiv, § 22. Przekład: W. K o r n a t o w s k i .

²⁷ Por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 103. Autor podkreśla, że – zdaniem Archimedesesa – nie było żadnego sposobu na doświadczalne sprawdzenie ruchu Ziemi względem gwiazd stałych. Z tego powodu Archimedes nie wysuwał przeciwko teorii Arystarcha argumentów „fizycznych” (choć krytykował matematyczne sformułowanie jego teorii), a jego hipotezy wykorzystywał jedynie po to, aby obliczyć szacunkową wartość średnicy sfery gwiazd stałych. Podobnie jak w przypadku Arystarcha, Archimedesowi chodziło zatem o „ocalenie zjawisk”, bez wyciągania wniosków odnośnie „rzeczywistej” budowy wszechświata.

²⁸ Por. R. S. I n g a r d e n, dz. cyt., s. 57. Zdaniem autora, Ptolemeusz uznawał zasadę względności ruchu (którą przejął od Arystotelesa) „w tym samym stopniu co Kopernik”; tamże.

²⁹ M. H e l l e r: *Galileo's Relativity*, [w:] *The Galileo Affair: A Mitting of Faith and Science, Proc. of the Cracov Conference, 24–27 May 1984*. C. C o y n e, M. H e l l e r, J. Ż y c i ń s k i (red.), Specola Vaticana 1985, s. 114.

³⁰ Wniosek ten zdaje się zauważać sam Ptolemeusz, gdy pisze: „Zegary słoneczne, umieszczone w jakiegokolwiek części Ziemi i środki sfer amilarnych, mogą spełniać rolę rzeczywistych środków (*centro*) Ziemi; bowiem dokładny przegląd i rotacje cieni zgadzają się z hipotezami zjawisk, jakby były punktem, który jest w środku Ziemi”; P t o l e m e u s z: *Almagest*. Wydanie bazylejskie z roku 1551, s. 4.

³¹ Tamże, s. 5.

³² Zob. M. H e l l e r: *Galileo's Relativity*, art. cyt., s. 114.

³³ Por. P t o l e m e u s z: *Almagest*, I, vii, 24.

³⁴ Por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 104.

³⁵ Por. L u k r e c j u s z, *O naturze wszechrzeczy*, IV, 337–390.

³⁶ W e r g i l i u s z, *Eneida*, księga III, wiersz 72.

³⁷ Kopernik przytacza frazę z tekstu Wergiliusza w następującej postaci: „My odbijamy od portu, a ląd się cofa i miasta”; zob. M. K o p e r n i k: *O obrotach*, [w:] t e n ż e, *Dziela wszystkie*. T. 2, M. B r o ż e k, S. O ś w i ę c i m s k i (tłum.). Warszawa-Kraków 1976, s. 16.

³⁸ Na jego temat, por. K. S. S h u k l a, K. V. S a r m a: *Aryabhatiya of Aryabhata*, Indian National Science Academy 1976.

³⁹ A r y a b h a t a: *Aryabhatiya*, strofa 9 części astronomicznej („Gola-pada”), cyt. za: A. P a r a k h: *A Note on Aryabhata's Principle of Relativity*, URL= <http://xxx.soton.ac.uk/ftp/physics/papers/0610/0610095.pdf>.

⁴⁰ Por. K. M i c h a l s k i: *Odrodzenie nominalizmu w XIV w.*, „Kwartalnik Filozoficzny” rok 1926, nr 4, s. 197–199.

⁴¹ Por. R. P a l a c z: *Od wiedzy do nauki*. Wrocław-Warszawa 1979, s. 160.

⁴² R. P a l a c z: *Z problematyki badań nad filozofią przyrody w XV w.* Cz. II, „Studia Mediewistyczne” rok 1971, nr 13, s. 32.

⁴³ Na temat tej koncepcji, por. tamże, s. 88–104. Por. też: t e n ż e, *Od wiedzy do nauki*, dz. cyt., s. 181–185.

⁴⁴ Na temat koncepcji „miejsca” w starożytnej i średniowiecznej filozofii przyrody, por. R. P a l a c z: *Z problematyki badań nad filozofią przyrody w XV w.*, art. cyt., s. 13–41.

⁴⁵ Tamże, s. 32.

⁴⁶ Por. M. M a r k o w s k i: *Burydanizm w Polsce w okresie przedkopernikańskim*. Wrocław-Warszawa 1971, s. 114, 252.

⁴⁷ J. B u r y d a n: *Questiones super Physicorum libros Aristotelis*, księga IV, kwestia 3, f.68v.

⁴⁸ Zob. K. M i c h a l s k i, art. cyt., s. 215.

⁴⁹ „[...] homo existens in navi velociter mota non recipit motum suum nec motum navis”; J. B u r y d a n: *Questiones super libris quattuor De caelo et mundo*, księga II, kwestia 22.

⁵⁰ Zob. tamże.

⁵¹ Por. A.C. C r o m b i e: *Nauka średniowieczna i początki nauki nowożytnej*. T. II, PAX, Warszawa 1960, s. 98.

⁵² Por. E. G r a n t: *Średniowieczne podstawy nauki nowożytnej*. Warszawa 2005, s. 150–152.

⁵³ J. B u r y d a n: *Questiones super libris quattuor De caelo et mundo*, księga II, kwestia 22.

⁵⁴ Por. A. B i r k e n m a j e r: *Komentarz, [w:] M. K o p e r n i k: Dzieła wszystkie*, dz. cyt., s. 337.

⁵⁵ M i k o ł a j z O r e s m e: *Le livre du ciel at du monde*, cytaty z tego dzieła za: A.C. C r o m b i e, dz. cyt., s. 105. Por. E. G r a n t, dz. cyt., s. 152–155.

⁵⁶ M i k o ł a j z O r e s m e: *Le livre du ciel at du monde*, księga 2, rozdział 6.

⁵⁷ Por. tamże, księga 1, rozdział 24.

⁵⁸ Por. R. H a l l: *Rewolucja naukowa 1500–1800*. Warszawa 1966, s. 78.

⁵⁹ Cyt. za: A.C. C r o m b i e, dz. cyt., s. 179.

⁶⁰ Tamże.

⁶¹ M i k o ł a j z O r e s m e: *Le livre du ciel at du monde*, księga 2, rozdział 25.

⁶² Mikołaj z Oresme cytuje w tym miejscu czwartą księgę *Perspectivy* Witelona, por. A.C. C r o m b i e, dz. cyt., s. 103.

⁶³ M i k o ł a j z O r e s m e: *Le livre du ciel at du monde*, księga 2, rozdział 25.

⁶⁴ Por. R. H a l l, dz. cyt., s. 79.

⁶⁵ Por. S. T o u l m i n, J. G o o d f i e l d: *The Fabric of Heavens. The Development of Astronomy and Dynamics*. New York 1965, s. 167–168.

⁶⁶ M i k o ł a j z O r e s m e: *Le livre du ciel at du monde*, księga 2, rozdział 25.

⁶⁷ Por. M. M a r k o w s k i: *Mikołaj Kopernik jako filozof*, „Kwartalnik Filozoficzny” rok 1994, nr 22, s. 39.

⁶⁸ Por. R. P a l a c z: *Od wiedzy do nauki*, dz. cyt., s. 174.

⁶⁹ A l b e r t R i c k m e r s d o r f: *Questiones*, księga 2, kwestia 26.

⁷⁰ M i k o ł a j z K u z y: *O uczonej niewiedzy*, II, 11.

⁷¹ Por. S. T o u l m i n, J. G o o d f i e l d, dz. cyt., s. 169.

⁷² M i k o ł a j z K u z y: *O uczonej niewiedzy*, II, 12.

⁷³ Por. J. W a s i u t y ń s k i, dz. cyt., s. 251.

⁷⁴ Por. J. B u r c h a r d t: *Kosmologia i psychologia Witelona*. „Studia Copernicana” rok 1991, nr 30, s. 116–173.

⁷⁵ „*Ex intemperata etiam situs oppositionis obliquitate accidit error [...] Unde aliquo velociter navigante in flumine et oblique aspiciente arbores in ripa fluminis, tunc arbores ab exe visuali multum elongatas aestimabit moveri; illae vero arbores, quibus axis visualis incidet, quiescere videvuntur*”; W i t e l o n: *Perspectiva*, księga IV, § 138. Wydanie bazylejskie z 1572 r., s. 180.

⁷⁶ Taką opinię wyraża komentator bazylejskiego wydania *Perspectiva*, F. Risner; por.: A. B i r k e n m a j e r, dz. cyt., s. 340.

⁷⁷ Na temat dokonania Alhazena (właściwe nazwisko to Ibn al-Hajtam) na polu optyki, por. L. R u s s o, dz. cyt., s. 353–354, 368–370.

⁷⁸ Por. M. M a r k o w s k i: *Burydanzm w Polsce w okresie przedkopernikańskim*, dz. cyt., s. 239.

⁷⁹ Por. R. P a l a c z: *Od wiedzy do nauki*, dz. cyt., s. 206.

⁸⁰ Por. *Mikołaj Kopernik. Studia i materiały sesji kopernikowskiej w KUL 18–19 II 1972*, M. K u r d z i o ł e k, I. P e b e t a (red.). Lublin 1973, s. 24.

⁸¹ „*Exemplum huius potest apparere in insidenti navi vel currui, qui potest habere duplicem motum, videlicet unum navis vel currus, et alium ratione sui, similiter considerando tantum eius motum et non navis, vel e converso navis tantum, tunc talis motus potest esse uniformis*”; W o j c i e c h z B r u d z e w a: *Commentariolum super Theoricarum novarum planetarum Georgii Purbachii*, Kraków 1900, s. 85.

⁸² Zob. A. B i r k e n m a j e r: *Stromata copernicana*. Kraków 1924, s. 89.

⁸³ Por. Ł. K u r d y b a c h a, W. Z o n n: *Mikołaj Kopernik*. Warszawa 1951, s. 20.

⁸⁴ „Weźmy dwa ciała, na przykład Ziemię i Słońce. Ruch, który obserwujemy, jest i tym razem względny. Można go opisać wiążąc układ współrzędnych bądź z Ziemią, bądź też ze Słońcem. Z tego punktu widzenia wielkie dzieło Kopernika polega na przeniesieniu układu współrzędnych z Ziemi na Słońce”; A. E i n s t e i n, L. I n f e l d: *Ewolucja fizyki*. Warszawa 1962, s. 187.

⁸⁵ Taki pogląd prezentuje np. W. Z o n n, który w książce prezentującej historię astronomii (*Astronomia z perspektywy czasu*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1974) pisze, iż „w starożytności nie znano zasady względności ruchu” (s. 37). Autor twierdzi również że nawet „za czasów Kopernika nikomu się nie śniło o zasadzie względności ruchu” (s. 92). Zdaniem autora, zasadę tę sformułował dopiero Galileusz, ale już Kopernik „zastosował ją w swoich operacjach myślowych” (s. 92).

⁸⁶ Kopernik nie potrafił wyzwoleć się od absolutyzowania zjawiska ruchu, co znacznie pomniejsza „rewolucyjność” jego teorii. Na ten temat, por. np.: M. H e l l e r: *Fizyka ruchu i czasoprzestrzeni*. Warszawa 1993, s. 49–56; A. K o y r e: *The Astronomical Revolution*. Paris 1973, s. 43–66.