

KOPERNIK JAKO RELATYWISTA

Idea względności w fizyce sprowadza się do równouprawnienia wszystkich układów odniesienia. Ponieważ Mikołaj Kopernik praktycznie pokazał, że związanie początku układu odniesienia ze Słońcem prowadzi ilościowo do takich samych (z grubsza rzecz biorąc, por. np. zjawisko paralaks „gwiazd stałych”) wyników, jak związanie go z Ziemią, często uważa się toruńskiego astronoma za pierwszego relatywistę. Jednakże, zarówno z historycznego, jak i merytorycznego punktu widzenia, sprawa jest znacznie bardziej skomplikowana. W celu jej zbadania pozwolimy sobie spojrzeć na poglądy Kopernika oczami dzisiejszego fizyka¹.

I

Istotnie, cała rewolucja kopernikańska polega na przejściu od układu odniesienia związanego z Ziemią (układ Z) do układu odniesienia związanego ze Słońcem (układ S). Przy czym nie są to układy inercjalne: punkt materialny, poruszający się jednostajnie względem układu Z, nie porusza się jednostajnie względem S. Można by więc sądzić, że relatywizm rewolucji kopernikańskiej sięga dalej niż np. relatywizm szczególnej teorii względności (która, jak wiadomo, dotyczy tylko inercjalnych układów odniesienia). Tak jednak, oczywiście, nie jest. Sam Kopernik nie potrafił się nawet wyzwolić od absolutyzowania zjawiska ruchu. Widać to na przykładzie jego polemiki z argumentami przytaczanymi przez ptolemejszczyków przeciwko możliwości poruszania się Ziemi. W rozdziale zatytułowanym *Dlaczego starożytni sądzili, że Ziemia spoczywa bez ruchu w środku wszechświata jakby jego punkt centralny?* Pierwszej Księgi *De Revolutionibus* Kopernik referuje poglądy swoich przeciwników:

A zatem — mówi Ptolemeusz z Aleksandrii — gdyby Ziemia obracała się i choćby to był tylko dzienny obrót, musiałyby nastąpić zjawiska zgoła przeciwne opisanym wyżej. Bo rzeczywiście, musiałyby to być ruch niezwykle szybki, a prędkość jego niedościgniona, skoro cały obwód Ziemi musiałyby dokonywać pełnego obrotu w ciągu dwudziestu czterech godzin. Widzimy zaś, że to, co zostaje wprawione w gwałtowny ruch wirujący, zupełnie niezdolne jest do skupienia się, a rzeczy bardziej zwarte rozpraszają się, chyba że je trzyma razem coś mocno spajającego. Dawno więc już — powiada on — Ziemia by się rozproszyła i wypadła poza granice samego nieba (co jest wprost śmieszne), a tym bardziej istoty żywe i wszystkie inne luźne

¹ Artykuł ten jest inspirowany przez lekturę, B. G. Kuzniecowa: *Otnositel'nost' — ewolucja principa otnositel'nosti ot drevnosti do naszich dniej*. Moskwa 1969.

ciężary bynajmniej nie utrzymywałyby się bez wstrząsu na miejscu. A także ciała, spadające w prostym kierunku, nie docierałyby wzdłuż pionu do przeznaczonego im miejsca, ponieważ przy tak ogromnej szybkości musiałyby się ono tymczasem przesunąć w bok. Tak samo chmury i wszystko, cokolwiek unosi się w powietrzu, pędziłoby przed naszymi oczyma bez przerwy na zachód”².

Rzecz charakterystyczna, w zasadzie ta sama „filozofia” leżała u podstaw wszystkich XIX-wiecznych prób wykrycia absolutnego ruchu Ziemi (względem eteru). Wiatr eteru nie mógł zostać odkryty, a doświadczenie Michelsona-Morleya musiało dać wynik zerowy, gdyż nie istnieje absolutny układ odniesienia (eter); sens fizyczny mają tylko ruchy względne.

II

Klasyczna zasada względności postuluje niezmienniczość praw mechaniki względem wszystkich inercjalnych układów odniesienia. Einsteińska szczególna zasada względności rozciąga klasyczną zasadę na wszystkie prawa fizyki (nie tylko mechaniki), a ogólna zasada względności uogólnia ją ponadto na wszystkie układy odniesienia (nie tylko inercjalne). [Niekktórzy uważają, że nie ma ogólnej — różnej od szczególnej — zasady względności, a w einsteinowskiej teorii grawitacji do zasady względności (wspólnej dla szczególnej i ogólnej teorii Einsteina) dochodzi jeszcze zasada ogólnej kowariantności.]³

Jeżeli (dla przejrzystości rozważania) ograniczymy się tylko do układów inercjalnych, to możemy powiedzieć, iż z zasady względności wynika, że badanie jakichkolwiek zjawisk w danym układzie inercjalnym nie jest w stanie rozstrzygnąć, czy układ ten znajduje się w ruchu, czy w spoczynku. Ponieważ jest to niemożliwość zasadnicza, pytanie o ruch takiego układu (względem czego?) stanowi zagadnienie pozbawione fizycznego sensu. Odpowiednik — czy raczej archetyp — tego rodzaju stwierdzenia znajdujemy u Kopernika.

Znalezienie odpowiedzi na cytowane wyżej argumenty ptolemejszczyków w czasach Kopernika nie było rzeczą łatwą. Fromborski astronom wybrnął z sytuacji przywołując na pomoc arystotelesowską koncepcję ruchów naturalnych. Według Arystotelesa ciała ciężkie ze swej natury dążą do centrum świata znajdującego się w środku Ziemi, ciała zaś lekkie (takie jak powietrze i ogień) dążą do „obwodu świata”. Są to ruchy naturalne. Do wywołania ruchu „przeciwnego naturze” potrzebne jest działanie siły. Tego rodzaju ruchy nazywają się ruchami wymuszonymi. W takim pojęciowym kontekście zrozumiała stała się odpowiedź Kopernika:

Jednakże jeśli by ktoś sądził, że Ziemia się obraca, ten na pewno powie, że jest to ruch naturalny, a nie wymuszony. Co zaś jest zgodne z naturą, wywołuje skutki przeciwne tym, które pochodzą z przemocy. Wszystko bowiem, co doznaje stałej czy nagłej siły z zewnątrz, musi się rozpaść i długo ostać

² s. 62 — Wszystkie cytaty z wydania: Nicolaus Copernicus: *De Revolutionibus Orbium Caelestium, Liber Primus*. Warszawa 1953.

³ Por. V. A. Fock: *Teoria prostranstwa, wriemieni i tiagotienija*. Moskwa 1961.

się nie może; co zaś odbywa się z natury, pozostaje w dobrym stanie i zachowuje swój najlepszy układ. Bezpodstawne są zatem obawy Ptolemeusza, że Ziemia i wszystkie ziemskie przedmioty mogłyby się rozsypać w obrocie, wywołanym przez działanie natury, które jest zupełnie różne od siły sztucznej czy też takiej, którą można osiągnąć ludzkim przemysłem”⁴.

Z powyższego rozumowania można wnosić, że Kopernik zgodziłby się na postawienie następującej zasady: Obserwator znajdujący się na powierzchni ciała, które porusza się ruchem naturalnym, przy pomocy żadnych eksperymentów nie jest w stanie rozstrzygnąć, czy to ciało się porusza, czy pozostaje w spoczynku. Zasada ta w stosunku do tekstu z *De Revolutionibus* jest uogólniona pod dwoma względami. Po pierwsze, Kopernik mówi tylko o ruchu Ziemi, a wyżej postawiona zasada (można by ją nieco „na wyrost” nazwać „kopernikańską zasadą względności”) — o dowolnych ciałach poruszających się ruchem naturalnym. Po drugie, Kopernik mówi o „zjawiskach pochodzących z przemocy”, natomiast zasada sformułowana przez nas „na koszt” Kopernika — o jakichkolwiek eksperymentach wykonywanych na powierzchni ciała poruszającego się ruchem naturalnym. Niemniej jednak można sądzić, że przekonania podobne do wyrażonych w „kopernikańskiej zasadzie względności” leżą u podstaw odpowiedzi danej zwolennikom Ptolemeusza.

Jeżeli tę odpowiedź potraktować jako filozoficzne uzasadnienie nowych poglądów, to nie potrafimy obronić Kopernika przed zarzutem naiwności. Co by powiedział Kopernik, gdyby znane mu były występujące na powierzchni Ziemi efekty związane z siłami odśrodkowymi i Coriolisa (wahadło Foucaulta)? Jeżeli jednak spojrzeć na rozumowanie autora *De Revolutionibus* pod kątem fizycznego sposobu myślenia, to należy stwierdzić, że uczynił on krok naprzód w kierunku sformułowania zasady względności. Wystarczy tylko zwrot „ciało znajdujące się w ruchu naturalnym” zastąpić terminem „układ inercjalny”, aby „kopernikańska zasada względności” przybrała całkiem współczesne znaczenie. W czasach Kopernika fizyka nie była jeszcze przygotowana do takiego zabiegu. Jednakże i tu intuicja naukowca kierowała myśl Kopernika na właściwe tory.

Wszelka bowiem zmiana co do miejsca — pisał — jaką dostrzegamy, powstaje albo na skutek ruchu obserwowanego przedmiotu, albo na skutek ruchu obserwatora, albo też na skutek niejednakowej zmiany jednego i drugiego z nich; bo gdy chodzi o ruch przedmiotów poruszających się jednakowo w tym samym kierunku, tutaj więc przedmiotu obserwowanego i obserwatora, to jest on niedostrzegalny” (podkreślenie moje — M.H.)⁵.

Jest to w gruncie rzeczy zasada względności dla ruchów jednostajnych. Roczny ruch Ziemi względem Słońca można w (grubym) przybliżeniu uważać za jednostajny i powyższą zasadę względności stosować do tego przypadku.

Bo jeśli ten obieg [idzie o obieg roczny] — czytamy w *De Revolutionibus* — zmienimy ze słonecznego na ziemski i przyznamy nieruchomość Słońcu, to

⁴ *De Revolutionibus*, s. 62.

⁵ *De Revolutionibus*, s. 57—58.

nic się nie zmieni w zjawiskach wschodu i zachodu znaków zwierzyńcowych i gwiazd stałych, dzięki którym stają się one gwiazdami rannymi i wieczornymi; równocześnie postoje planet, ich cofania się i posuwania okażą się nie ich ruchem, lecz wynikiem ruchu Ziemi, które one zapożyczają dla swoich zjawisk”⁶.

III

Czy wszakże nie posunęliśmy się za daleko w „uwspółcześnianiu” Kopernika? Pojęcie względności było jednak obce toruńskiemu astronomowi. Dla niego różnica między Ziemią ruchomą i nieruchomą — mimo że nie może być stwierdzona eksperymentalnie na skutek naturalności ruchu Ziemi — jest absolutna. Nieruchomości Ziemi i ruchomości Słońca Kopernik przypisywał charakter pozorny, natomiast ruchomości Ziemi i nieruchomości Słońca — charakter rzeczywisty. Rzeczywisty i pozorny nie są synonimami absolutnego i względnego; są raczej ich archetypami. Pojęcia względny i absolutny nabiorą dzisiaj znaczenia dopiero w dziele Newtona.

Jeszcze raz zacytujmy Kopernika:

Dlaczego nie mamy powiedzieć jasno, że to zjawisko codziennego obrotu jest na niebie czymś pozornym, a na Ziemi rzeczywistością i że rzecz ma się tutaj tak właśnie, jakby to wyraził Eneasz, gdy mówi u Wergiliusza:

„My odbijamy od portu,
a ląd się cofa i miasta”?

Bo gdy okręt płynie po spokojnym morzu, wszystko, co jest na zewnątrz, widzą płynący na nim ludzie tak, jakby się właśnie to poruszało na podobieństwo ruchów okrętu, a — na odwrót — zdaje im się, że sami wraz ze wszystkim, co jest z nimi, stoją w miejscu. Tak samo bez wątplenia może się mieć rzecz w wypadku ruchu Ziemi i sprawiać wrażenie, że to cały obraca się świat”⁷.

Nawet klasycznie „relatywistyczny” tekst Wergiliusza pod piórem Kopernika oznacza tylko zasadniczą niemożliwość odróżnienia ruchów pozornych od rzeczywistych.

IV

Kopernik, odwołując się w polemice ze zwolennikami Ptolemeusza do teorii ruchu naturalnego, zmodyfikował ortodoksyjną naukę Arystotelesa. Według tego ostatniego ciała ciężkie poruszają się ku środkowi świata, natomiast według Kopernika ciała w sposób naturalny poruszają się w kierunku większego skupiska takiej materii, z jakiej same są zbudowane.

Ja w każdym razie mniemam — pisał Kopernik — że ciężkość nie jest niczym innym, jak tylko jakąś naturalną dążnością, którą boska opatrność Stwórcy wszechświata nadała częściom po to, żeby łączyły się w jedność i całość, skupiając się razem na kształt kuli. A jest rzeczą godną wiary, że taka dążność istnieje również w Słońcu, Księżycu i innych świecących planetach,

⁶ *De Revolutionibus*, s. 66.

⁷ *De Revolutionibus*, s. 63.

po to, by na skutek jej działania trwały w krągłości, w jakiej się nam przedstawiają; a niezależnie od tego w wieloraki sposób wykonują one swe ruchy krążące”⁸.

Nie jest to jeszcze teoria ciężenia powszechnego, jest to ciągle „wyjaśnienie” w duchu fizyki Arystotelesa. Ale niewątpliwie krok naprzód. W koncepcji Kopernika przestrzeń jest jednorodna; nie zawiera żadnych wyróżnionych punktów w rodzaju środka, ku któremu naturalnie dążyłyby ciężkie ciała. Jeśli pewne punkty są wyróżnione (np. środek Ziemi czy Słońca), to nie geometrycznie, lecz fizycznie — dlatego że znajduje się w nich duża masa.

V

Wróćmy jeszcze raz do argumentów ptolemeistów przeciw Kopernikowi. Ziemia nie może wirować dookoła własnej osi, bo zostałaby rozerwana przez „siłę odśrodkową”. Kopernik rozprawił się z tym zarzutem przy pomocy swojej koncepcji ruchów naturalnych. Lojalnie dostrzegł jednak możliwości dalszej dyskusji.

Czemu jednak — pisał — nie ma się tych samych przypuszczeń raczej w odniesieniu do wszechświata, którego ruch musi być przecież tyle razy szybszy, ile razy niebo jest większe od Ziemi? Czy może niebo dlatego właśnie doszło do niezmiernej wielkości, że wskutek niewypowiedzianej gwałtowności swego ruchu oddala się od środka, w przeciwnym zaś razie, gdyby stało w miejscu, musiałyby się zawalić?⁹

Po czym pokusił się o próbę odpowiedzi:

Zaiste, gdyby takie rozumowanie mogło się ostać, także wielkość nieba musiałaby się rozszerzać do nieskończoności. Bo im bardziej porywałby je w górę sam pęd ruchu, tym szybszy byłby ten ruch ze względu na stale wzrastający okrąg, który należałoby przebyć w przeciągu dwudziestu czterech godzin! I nawzajem, ze wzrostem ruchu wzrastałby ogrom nieba. W ten sposób szybkość i wielkość będą się wzajemnie podpędzać aż do nieskończoności. Lecz zgodnie ze znanym w fizyce twierdzeniem, że nieskończoność nie może być przebyta ani też w żaden sposób nie może się poruszać, niebo z konieczności stać będzie w miejscu¹⁰.

Warto przypomnieć, że Arystoteles rozróżniał nieskończoność „ze względu na podzielność” (kontinuum jest podzielne w nieskończoność) i nieskończoność „ze względu na krańce” (końce prostej są od siebie nieskończenie odległe). Według Arystotelesa pomiędzy czasem i ruchem istnieje wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość. Rozumowania Zenona z Elei nie są słuszne: nieskończona ilość punktów dzieląca Achilleusa od żółwia jest nieskończonością „ze względu na podzielność”, a nie „ze względu na krańce” i dlatego może zostać przebyta w skończonym przedziale czasowym. Ale konsekwentnie, nieskończona („ze względu na

⁸ *De Revolutionibus*, s. 66.

⁹ *De Revolutionibus*, s. 63.

¹⁰ *De Revolutionibus*, s. 63.

krańce") odległość nie może zostać przebyta w skończonym interwale czasu ¹¹.

Argument o nieskończoności, która „nie może być przebyta”, posiada charakter spekulatywny i z pewnością nie miał żadnego znaczenia dla dalszego rozwoju kosmologii. Ale możemy sobie przecież pozwolić na karkołomne zestawienie poglądów Kopernika z wynikami teoretycznych rozważań dzisiejszej nauki o Wszechświecie. Otóż jest rzeczą zastanawiającą, że w kosmologii relatywistycznej obrót Wszechświata (względem tzw. osi bezwładności), bez dodatkowych założeń, wyklucza jego ekspansję (por. kosmologiczny model Gödla). Przypadek czy ziarna „proroczej” intuicji w naiwnym skądinąd rozumowaniu Kopernika?

VI

Na koniec zestawmy dwa teksty. Pierwszy z *De Revolutionibus*, zawiera jeszcze jeden argument na rzecz ruchomości Ziemi:

Skoro zaś niebo, tj. „caelum”, jest tym, co wszystko ogarnia i okrywa, tj. „caelat”, a więc wspólnym pomieszczeniem wszystkich rzeczy, to nie tak łatwo zrozumieć, dlaczego nie mamy przypisywać ruchu raczej temu, co jest ogarnięte, niż temu, co ogarnia, i raczej temu, co otrzymało miejsce, niż temu, co tego miejsca udziela ¹².

Drugi tekst jest zaczerpnięty z popularnego podręcznika współczesnej kosmologii. Tekst ten ma uzasadniać tzw. zasadę Macha, według której bezwładność masy próbnej (lokalny układ inercjalny) jest określona przez średni ruch obiektów astronomicznych:

Jeżeli zgodzimy się z Machem, że koincydencja układów odniesienia określonych dynamicznie [np. metodą wahadła Foucaulta, przyp. mój — M.H.] i astronomicznie [np. metodą pomiaru prędkości kątowej gwiazd stałych, przyp. mój — M.H.] nie jest konsekwencją praw Newtona (albo teorii względności), wówczas oczywiście musimy znaleźć wyjaśnienie tej koincydencji, ponieważ przypadkowa zgodność dwóch układów odniesienia z taką dokładnością jest zbyt mało prawdopodobna. Powstaje więc konieczność założenia związku przyczynowego pomiędzy ruchem gwiazd (i mgławic) oraz ruchem lokalnego układu inercjalnego. Ponieważ nie ma żadnego trzeciego związanego z tym obiektu, więc związek ten musi istnieć pomiędzy dwoma wymienionymi zjawiskami. Wpływ lokalnego układu inercjalnego na ruch gwiazd jest nie do przyjęcia i dlatego musimy założyć, że lokalny układ inercjalny jest określony przez średni ruch odległych obiektów astronomicznych. To stwierdzenie jest znane jako zasada Macha ¹³.

Tym razem nie będziemy doszukiwać się u Kopernika nawet zaczątków idei Macha, ale musimy przyznać, że w obu tekstach sposób argumentacji jest w gruncie rzeczy ten sam. Zwłaszcza gdy uświadomimy sobie, że sfera gwiazd stałych (niebo — *caelum*) odgrywa u Kopernika rolę „absolutnego” układu odniesienia, względem którego mierzy się „lokalne” ruchy Ziemi.

¹¹ Por. VI, Fiz., 233a.

¹² *De Revolutionibus*, s. 58.

¹³ H. Bondi: *Kosmologia*. Warszawa 1965 s. 39.

Astronomiczne, w pełni nowatorskie, osiągnięcia Kopernika przeplatają się w jego dziele z filozoficzno-przyrodniczymi poglądami czasów, w jakich żył. Wydaje się, że coś podobnego jest losem każdego geniusza. Tylko stojąc na barkach poprzedników można widzieć dalej i ostrzej od siebie współczesnych.

М. Хеллер

КОПЕРНИК КАК РЕЛЯТИВИСТ

Революция, вызванная учением Коперника, заключается, как известно, в переходе от системы отсчета с началом в центре Земли к системе отсчета с началом в центре инерции солнечной системы. Этот переход можно конечно рассматривать как релятивистскую операцию. Однако сам Коперник не сумел освободиться от абсолютизации движения. Сторонники теории Птолемея считали, что Земля должна быть неподвижной, так как в противном случае „тучи и все, что находится в воздухе, мчалось бы беспрерывно перед нашими глазами на запад”. Коперник не заметил, что этого рода аргументы становятся бессмысленными, если физический смысл будем приписывать только относительному движению. Излагаемые Коперником аргументы сторонников системы Птолемея базируются на этой же философии, что и делаемые в XIX веке попытки обнаружить „ветер эфира”.

Коперник ищет ответа на упреки сторонников теории Птолемея в модифицированной им самим теории натурального движения Аристотеля: наблюдатель, который находится на поверхности тела, которое перемещается натуральным движением, не может с помощью каких-либо экспериментов обнаружить, находится ли данное тело в состоянии движения или покоя (натуральное движение не может вызывать следствий, противоречащих натуре). Эту формулировку можно было бы назвать принципом относительности Коперника. Однако, и это необходимо подчеркнуть, само понятие относительности не было известно Копернику. Он не упоминал об абсолютном и относительном движении, а о действительном и мнимом.

Сторонники теории Птолемея предполагали, что небо не может стоять на месте, так как „оно при этом бы завалилось”. Коперник оборачивает этот аргумент против них. Суточное вращение неба вызвало бы под действием „центробежных сил” расширение Вселенной. Однако согласно физике Аристотеля „бесконечность нельзя проехать и она, ни в коем случае, не может двигаться, небо должно поэтому быть неподвижным”. Очень характерно, что в современной релятивистской космологии вращение Вселенной (относительно, так называемой, оси инерции) без дополнительных предпосылок, исключает ее расширение (сравни космологический модель Гедля).

Коперник ссылается еще на одно доказательство. Небо — это то, что все окружает: „Не так легко понять почему мы не должны приписывать движение скорее тому, что окружено, чем тому, что окружает”. Ход такого рассуждения напоминает аргументы, которые в современной релятивистской физике приводят к, так называемому, принципу Маха: „Влияние местной инерционной системы на движение звезд не приемлемо и поэтому мы должны предположить, что местная инерционная система определяется средним движением удаленных астрономических объектов”. Не стоит однако доискиваться слишком далекой аналогии.

М. Heller

COPERNICUS AS A RELATIVITIST

At it is known, the point of the Copernican revolution was the substitution of the geocentric with the heliocentric system of reference. One can consider this to be relativistic intervention. However, Copernicus himself was not able to free himself

from an absolutism of motion. The adherents of Ptolemy thought that Earth must be immobile for otherwise "the clouds and everything that floats in the air would continuously rush in front of our eyes to the west". Copernicus did not notice that this type of arguments become groundless if relative motions alone are credited with a physical sense. The way Copernicus interpreted the arguments of Ptolemy is based on the same "philosophy" as the attempts to discover an "ether wind" in the 19th century.

Copernicus searched for an answer to the objections of Ptolemy's adherents in Aristotle's theory of natural motions which he modified himself: An observer on the surface of a body moving naturally is not able to judge whether the body is moving or not (natural motion cannot bring out results that would be against nature). We can call this formulation the Copernican principle of relativity. However, we should stress that the motion of relatively was unknown to Copernicus. He did not speak of absolute and relative motion but of real and apparent motions.

Ptolemy thought that heavens could not stand still or it would "collapse". Copernicus turned the point of this objection around. The daily turn of heaven as a result of "centrifugal forces" would make the Universe expand. But according to the physics of Aristotle "infinity cannot be crossed or it cannot move in any way, heaven must stand still". It is characteristic that in modern relativistic cosmology the rotation of the Universe (in relation to the so-called compass of inertia) rules out its expansion, without any additional presuppositions (compare Gödel's cosmological model).

Copernicus refers to yet another argumentation. Heaven is something that is all embracing. "It is not easy to understand why we are to ascribe motion rather to what is embraced than to what embraces". This argumentation is reminiscent of the way of thinking that in contemporary relativistic physics is to lead to the so-called Mach's principle: "The influence of the local inertial system of reference on the motion of stars cannot be accepted and thus we must accept that the local is defined by the middle motion of distant astronomical objects". However, we should not be carried away in search for far reaching analogy.