

Porządek i przygodność

Krystian Zawistowski

29 czerwca 2023

Spis treści

1	Teza główna i streszczenie.	3
1.1	Porządek i przygodność.	3
1.2	Znaczenie filozofii Duhema w historii fizyki	11
2	Fizyka do XIII w.	15
2.1	Filozofowie jońscy	15
2.2	Od Heraklita do Platona	17
2.3	Fizyka Arystotelesa	20
2.3.1	Formy i zasada indukcji	21
2.3.2	Problem “arche”.	23
2.3.3	Cztery przyczyny	25
2.3.4	Natura.	27
2.3.5	Ruch naturalny i miejsce.	29
2.3.6	Konieczność, błędy natury i czas.	31
2.4	Arystoteles oczami fizyka.	34
2.5	Problemy fizyki Arystotelesa.	38
2.6	Wszystko według miary liczby i wagi.	40
2.7	Dynamika Jana Filopona.	42
2.8	Scholastycyzm	43
3	Fizyka od XIII w.	46
3.1	Rewolucja naukowa 1277 roku.	46
3.2	Scholastyczna teoria wielkości fizycznej.	48
3.3	Czas i abstrakcja	53
3.4	Teoria Impetu	59
3.5	Miejsce, wielość światów i grawitacja	65
3.6	Prawo spadku swobodnego	75
3.7	Porządek świata u Newtona i Eulera	80

1 Teza główna i streszczenie.

1.1 Porządek i przygodność.

Pośród prekursorów fizyki XX w. trzeba wymienić książkę “Teoria fizyczna”¹ Pierre Maurice Duhema, wydaną w 1908. Praca trafnie wskazała wady sensualizmu² i mechanicznej wizji świata i przywróciła na nowo wizję abstrakcyjnego, matematycznego opisu porządku świata. Metoda Duhema pasuje dobrze do współczesnej fizyki³, według opinii samych jej twórców⁴⁵.

Metoda ta znajduje też uzasadnienie w historii nauki. Duhem, jako wybitny historyk fizyki⁶, jest głównym adwokatem historycznej ciągłości fizyki. By zobaczyć tę ciągłość, należy oczyścić fizykę z tego co nie jest możliwe do rozstrzygnięcia przez doświadczenie. Zostawić należy to, co jest niezbędne, by teoria mogła przewidywać nowe zjawiska: abstrakcyjną, matematyczną formułację teorii i procedury pomiarowe.

Oto główne poglądy Duhema na metodę fizyki.

Teza 1.1 *Teorie fizyczne opisują porządek, który rzeczywiście istnieje w naturze*⁷⁸. *Celem teorii jest ekonomiczna reprezentacja faktów.*

¹(Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*)

²tzn. przypisywania intuicyjnym obrazom zjawisk fizycznych prawdziwości

³(Dugas, “La méthode physique au sens de Duhem devant la mécanique des quanta - translated by A. Aversa as Physical method according to Duhem in view of quantum mechanics”)

⁴Wybitny fizyk Louis de Broglie (zm. 1987) pisząc w 1952 przedmowę do (Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*) s. ix, stwierdza, że poglądy te zostały zaadaptowane przez wielu fizyków kwantowych.

⁵O wpływie Duhema na Einsteina pisze (Howard, “Einstein and Duhem”)

⁶de Broglie w (Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*), s. viii

⁷(tamże), s. 28

⁸(López Ruiz i Woollard, “Pierre Duhem and scientific truth: contextual, partial and real”), s. 322, cyt. z “Filosofía de la Ciencia” M. Artigas

W tym sensie teorie naukowe są prawdziwe; możemy to stwierdzić przez doświadczenie⁹:

Najwyższym testem uznania klasyfikacji za prawdziwą jest zażądać, by przewidywała ona zawczasu rzeczy, które staną się wiadome dopiero w przyszłości. Gdy wynik eksperymentu potwierdza predykcje, jakie otrzymaliśmy z teorii, czujemy wzrost przekonania, że relacje ustalone przez nasz umysł między abstrakcyjnymi koncepcjami istotnie odpowiadają relacjom między rzeczami.

Opisowa, matematyczna część teorii jest prawdziwa — w takim sensie, że opisuje prawdziwy porządek świata.

Duhem jest więc realistą, uznając, że teorie zdradzają prawdę o naturze. Pogląd ten był krytykowany: np. Popper odpowiada, że prawdziwość jest poza zasięgiem nauki; teorie to domysły, które poddajemy testom, by je obalić. To zarazem przekreśla nadzieje na prawdziwość teorii, nieważne ile razy do tej pory zadziałała. Duhem znalazł o wiele bardziej elegancką odpowiedź na to zagadnienie¹⁰:

Gdy postęp fizyki eksperymentalnej idzie przeciwko teorii i zmusza ją do modyfikacji albo transformacji, czysto reprezentacyjna część teorii wchodzi niemal w całości w skład nowej teorii, przynosząc do niej spadek całego wartościowego dobytku starej teorii, podczas gdy część wyjaśniająca jest odrzucona, by zrobić miejsce dla nowych wyjaśnień.

Poznanie porządku świata nie ulega obaleniu, lecz ciągle poznajemy go coraz dokładniej. To część wyjaśniająca jest czasem zastępowana. Oto teza druga, według której wyjaśnienia praw fizyki są przygodne:

⁹(Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*), s. 28

¹⁰(Dugas, "La méthode physique au sens de Duhem devant la mécanique des quanta - translated by A. Aversa as *Physical method according to Duhem in view of quantum mechanics*") s. 5, op. cit. (Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*)

Teza 1.2 *Wyjaśnienia przyczyn i obrazy nie są ustalone na gruncie teorii fizycznej i podlegają rewizjom.*

Różne wyjaśnienie zjawisk fizyki są możliwe, o ile dają się uzgodnić z doświadczeniem. Teorie fizyczne opisują uporządkowane zależności między mierzalnymi wielkościami, nie zaś wyjaśnienia przyczyn tych zależności. Ta teza może być pozornie kontrowersyjna, nawet dla fizyków, (albo też szczególnie dla nich). A Duhem formułuje ją nawet bardziej “radykalnie”:

Wszystko co dobre w teorii, dzięki czemu teoria wydaje się reprezentować prawo natury i co umożliwia przewidywać nieznanne fakty, możemy znaleźć w części opisującej; wszystko to zostało odkryte przez fizyka, gdy nie pamiętał o szukaniu wyjaśnień. Z drugiej strony cokolwiek jest fałszywe w teorii i obalane przez fakty jest znalezione ponad wszystko w części wyjaśniającej¹¹.

Duhem wskazuje na nieusuwalną wątpliwość i nieokreśloność powyższych wyjaśnień i zbyteczne przywiązanie fizyki do metafizyki¹². Obrazy mogą być cennym narzędziem, ale to nie sprawia, że są prawdziwe. Duhem jako fizyk był teoretycznym purystą, zainteresowanym abstrakcyjnymi systemami aksjomatów. To jednak osobisty wybór, a nie zasada metodologiczna¹³:

Nie chcę sugerować braku intelektualnego liberalizmu u Duhema: “Najlepszy sposobem promowania postępu nauki jest pozwolić każdemu rodzajowi intelektu rozwijać się na własnych zasadach i spełniać się po swojemu; to znaczy, pozwolić silnym umysłom karmić się pojęciami abstrakcyjnymi i ogólnymi zasadami i pozwolić obfitym

¹¹(Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*), s. 32

¹²(tamże), s. 9-15

¹³(Dugas, “La méthode physique au sens de Duhem devant la mécanique des quanta - translated by A. Aversa as Physical method according to Duhem in view of quantum mechanics”)

umysłem konsumować rzeczy widoczne i namacalne” Duchem krytykuje sensualistów za mylenie słomy słów z ziarnem istoty rzeczy.

Można rzec więcej: intuicyjny umysł może skorzystać z tych zasad, by zmaksymalizować swoje szanse; im więcej obrazów wymyśli i im swobodniej nimi manipuluje i im bardziej szuka w nich defektów tym lepiej. Ograniczenie się do jednego zestawu obrazów równa się stagnacji, a uznanie go za całkowicie prawdziwy i ogólny jest błędne. Podamy parę przykładów zastosowania Tezy 1.2.

Przykład 1.2.1 *Wyjaśnienie grawitacji jako oddziaływania na odległość zostało zastąpione wizją zakrzywionej czasoprzestrzeni, mimo, że sukcesy teorii Newtona zdawały się sugerować prawdziwość starożytnego wyjaśnienia. Wcześniej trajektorie planet Układu Słonecznego wyjaśniano przy pomocy wirów materii (Kartezjusz) i krystalicznych sfer.*

By w ogóle uważać wyjaśnienia za prawdziwe należałoby odrzucić stare, Newtonowskie (jako obalone) i przyjąć nowe na gruncie teorii Einsteina. W praktyce jednak fale mechaniczne, planety Układu Słonecznego¹⁴, wahadła, samochody i wiele innych systemów opisujemy nadal równaniami Newtona. Co więcej, inżynierowie i fizycy, którzy się tym zajmują, posługują się obrazami fizyki klasycznej i istnienie Ogólnej Teorii Względności jest dla nich prawie bez znaczenia¹⁵. Obrazy powstałe na gruncie teorii Newtona są nadal niezbędne do rozwiązywania problemów, mimo, że teoria ta jest rzekomo obalona. Podsumowując, uważanie obrazów za prawdziwe, albo fałszywe tworzyłoby problemy.

¹⁴wyjątkiem jest precesja apsydalna Merkurego i parę podobnych zjawisk używanych np w satelitach; ale to również przez długi czas liczono stosując równania Newtonowskie i poprawiając rozbieżność na gruncie Ogólnej Teorii Względności, zob. (Narlikar i Rana, “Newtonian N-body calculations of the advance of Mercury’s perihelion”)

¹⁵a jeśli trafi się jakiś efekt OTW, to praktyk uwzględnia po prostu niewielką poprawkę na gruncie teorii Newtona —np. w systemie GPS.

Kolejny przykład jaki podamy był kluczowy dla sformułowania filozofii Duhema:

Przykład 1.2.2 *Dynamika Newtona może być sformułowana na gruncie zasady najmniejszego działania, w sposób niezależny od układu współrzędnych, pojęcia przestrzeni, ciała, siły itd. Zastosowanie zasady wariacyjnej (langranżjanu lub hamiltonianu) pozwala obliczyć równania ruchu dowolnego układu mechanicznego.*

W efekcie mechanikę można sformułować w sposób czysto abstrakcyjny, bez odniesienia do wyjaśnień, obrazów i przyczyn. Zasadę wariacyjną wynaleziono w XVIII w. jako ogólną zasadę, z której można wyprowadzić równania wielu układów fizycznych (nie odnosząc się przy tym do istniejących teorii). Wybitni fizycy XIX w. (np. Maxwell, Poincare)¹⁶ uznali to za potwierdzenie starego projektu zredukowania fizyki do mechaniki: jeśli można coś opisać lagranżjanem, to znaczy, że jest to równoważne systemowi mechanicznemu.

Duhem zwalczał ten punkt widzenia. Jego zdaniem to abstrakcyjny formalizm tworzy dobrą teorię, nie zaś mechaniczne wyjaśnienia. “Dobra teoria” to taka, którą da się przetestować i ewentualnie obalić, zaś wyjaśnienia mechaniczne falsyfikowalne nie są¹⁷. Ta właśnie cecha jest kluczowa dla postępu, sądzi Duhem¹⁸:

...[fizyk, którego nie zadowala znajomość fizyki z aktualnych plotek] zobaczy, że abstrakcyjna teoria, dojrzała dzięki cierpliwej pracy, weźmie w posiadanie nowe terytoria odkryte przez doświadczalników (...) Zobaczy też jasno, że fizyka atomistów, skazana na ciągłe starty od zera, nie wydaje się zmierzać przez ciągły postęp do doskonałej formy teorii fizycznej.

Odkrycia XX wieku przyznały jego metodzie rację: teoria eteru w swojej XIX-wiecznej formie została obalona, cząstki materii nie

¹⁶(José i Costa, “Duhem’s Critical Analysis of Mechanicism and His Defense of a Formal Conception of Theoretical Physics”), s. 42

¹⁷(tamże), s. 48

¹⁸(tamże), s. 50

oddziałują według zasad mechaniki klasycznej, a zasada wariacyjna może być użyty do sformułowania Ogólnej Teorii Względności, mechaniki kwantowej i kwantowej teorii pola —bez związku z mechaniką klasyczną. Duhem mylił się, będąc sceptycznym wobec Szczególnej Teorii Względności i mechaniki statystycznej, ale zarazem po paru dekadach jego zasady zatryumfowały w fizyce.

Jako fizyk zastosował tą zasadę do sformułowania termodynamiki w oparciu o formalizm wariacyjny, przez co też włączył się w głośny spór fizyki końca XIX w. traktujący o tym, czy atomy istnieją, czy nie. Nie odpowiedział wprost, za to wskazał, że atomy nie są konieczne dla termodynamiki.

Abstrakcyjną, matematyczną teorię trzeba połączyć z rzeczywistością: zmierzyć i zinterpretować wielkości liczbowe, które zostaną przypisane symbolom. Duhem sądzi, że:

Teza 1.3 *Pomiar fizyczny być musi nie tylko doświadczeniem zmysłowym, ale i interpretacją teoretyczną.*

Oto przykład:

Przykład 1.3.1 *By zmierzyć temperaturę, samo doświadczenie zmysłowe nie wystarczy; po pierwsze przez rozumową abstrakcję tworzymy pojęcie ciał gorących, lub chłodnych: jedno ciało może być cieplejsze od drugiego, a trzecie ciało może być cieplejsze od tych dwu¹⁹. Istnieje relacja równoważności ciał, które są tak samo ciepłe. Dalej wprowadza się zasadę, że ciała pozostające ze sobą w równowadze termodynamicznej (np. w kontakcie ze sobą) stają się tak samo ciepłe i prawo rozszerzalności temperaturowej cieczy, którą użyjemy do pomiaru. Wówczas temperatura ciała może być zmierzona przy pomocy wysokości słupa cieczy pozostającego z nim w równowadze (termometru).*

To jeszcze nie wszystko²⁰, bo bez skali wysokość słupa cieczy informuje nas o zależności relatywnej: jedno ciało jest cieplejsze, inne

¹⁹(João, “Poincaré and Duhem: Resonances in Their First Epistemological Reflections”), s. 148

²⁰(Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*), s. 117

chłodniejsze. By zmierzyć ciepłotę w sensie absolutnym trzeba stworzyć skalę termometru przez odniesienie się do konkretnych faktów: np. punktu topnienia i wrzenia wody, jak to się przyjęło w zwyczajowej skali Celsjusza. To tworzy kolejne powiązania teoretyczne (przemiany fazowe wody zależą np. od ciśnienia).

Inny przykład Duhem pożyczca od Poincaré²¹:

Przykład 1.3.2 *Eksperymentator zbudował obwód elektryczny z akumulatorem kwasowym, żarówką i wpiętym w obwód galwanometrem²². Na pytanie “czy prąd płynie” asystent może odpowiedzieć “nie, bo wskazówka galwanometru wskazuje 0”. Może też odpowiedzieć: “Tak, bo żarówka świeci, a z akumulatora wydostaje się gaz”, mimo, że galwanometr wskazuje 0.*

Poincaré zauważa, że “prąd nie płynie bo galwanometr wskazuje 0” znaczy zupełnie coś innego, niż w codziennym francuskim, natomiast fizycy mówią między sobą w ten sposób, ze względu na wygodę. Asystent myśli o całym układzie, nie o zależności prądu od wskazań galwanometru. Galwanometr może podać bardzo dokładną wartość natężenia, ale jest to złożony instrument, który może nie zadziałać (np. można go łatwo spalić, puszczając zbyt wielki prąd). Żarówka i bąble w elektrolicie są pewniejszą wskazówką tego czy prąd płynie, czy nie, bo są proste (choć nie dają dokładnej wartości prądu).

Duhem podsumowuje²³, że doświadczalnik myśli o dwóch różnych reprezentacjach swojego eksperymentu; jedna z nich to konkretny układ, który zbudował i którym manipuluje, drugi to teoretyczna interpretacja: abstrakcyjny, wyidealizowany schemat układu, do którego stosuje formuły fizyczne. Postęp fizyki tworzy coraz do-

²¹(Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*), s. 150

²²Galwanometr mierzy wielkość i kierunek niewielkich natężeń prądu elektrycznego; tradycyjnie przyrząd zawierał cewkę przez którą płynął prąd, umieszczoną między dwoma magnesami. Na cewce była wskazówka, albo lusterko, do pomiaru wychylenia.

²³(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 155,156

skonalszą odpowiedniość układów rzeczywistych i abstrakcyjnych schematów.

Ta własność wydaje się szczególnie dla fizyki nowożytnej. Zobaczmy, że starożytna astronomia i geometria świeciła tryumfy akurat tam, gdzie teoretyczna interpretacja jest prosta: by mierzyć kąty i odległości wystarczy pojęcie przestrzeni. Powyższa dyskusja o teoretycznej interpretacji jest ściśle związana z kolejną kluczową obserwacją Duhema:

Teza 1.4 (*Teza Duhema*) *Jeśli jest konflikt teorii i doświadczenia w fizyce, nie może być jasne, co zostało obalone.*

Asystent Poincare widząc zero na galwanometrze i świecąca żarówkę nie może być natychmiast pewien, co się zepsuło. Może obwód jest przerwany? Cewka spalona? Obok jest inny magnes? Dopiero gdy przetestuje przyrząd w izolacji, albo użyje innego miernika może odkryć przyczynę. Ostatnio widzieliśmy taki problem w eksperymencie OPERA w 2012, gdzie początkowe doniesienia o anomalnej prędkości nadświetlnej neutrin wyjaśniono przez problemy w układzie synchronizacji zegarów.

Gdy zaś eksperymentator widzi ewidentną anomalię, która wytrzymuje wszelkie testy, należy zmienić interpretację teoretyczną: zebrać dane o nowym zjawisku i spróbować je opisać. To jest na ogół pracochłonne, bo nawet wtedy²⁴:

Teza 1.5 (*Teza Duhema cd.*) *Eksperyment fizyczny nie stwierdza błędu wyizolowanej hipotezy, ale całej grupy teoretycznej.*

Poprawne działanie galwanometru w przedstawionym obwodzie wymaga założeń: prawdziwości prawa Ampera, prawa sprężystości Hooke (cewka jest na sprężynie), tezy, że bateria produkuje prąd stały i innych. By opisać tor komety prawem Newtona²⁵ należy znać jej prędkość, masy i pozycje ważniejszych ciał Układu Słonecznego (i

²⁴(Ladyman, *Understanding Philosophy of Science*), s. 77, (Pierre Duhem, *The aim and structure of physical theory*), s. 183, s. 187

²⁵(Ladyman, *Understanding Philosophy of Science*), s. 77

założyć, że innych istotnych mas nie ma). Należy też założyć opory ruchu (lub ich brak), wpływ promieniowania Słońca (lub jego brak). Gdy wynik obserwacji jest inny od oczekiwań, jakiegokolwiek z tych założeń może ulec modyfikacji, którą tylko dalsze badania mogą wskazać. Fizyka jest złożonym systemem połączonych i niemożliwych do rozseparowania hipotez, wskazuje Duhem — i odróżnia ją to od innych dziedzin nauk przyrodniczych.

Rozwój tego systemu jest możliwy kosztem mozolnych wysiłków na polu teorii, coraz większej precyzji pomiarów i coraz doskonalszych interpretacji doświadczenia. To wszystko zaś jest możliwe tylko dlatego, że pomiary i interpretacje stworzone dawno temu zachowują swą aktualność: istnieje bowiem niezmienny i uniwersalny porządek świata, jak wskazuje Teza 1.1, i fizyka nie istniałaby gdyby go nie było. Einstein ujął tą prawdę następująco²⁶:

Ktoś mógłby (tak, nawet *powinien*) oczekiwać świata podlegającego prawom tylko na tyle, na ile porządkujemy go w naszej inteligencji. Uporządkowanie takie byłoby jak alfabetyczne ułożenie słów w języku. Kontrastuje z tym na przykład porządek stworzony przez teorię grawitację Newtona, który jest zupełnie inny. Nawet jeśli aksjomaty teorii są zaproponowane przez człowieka, sukces takiego projektu zakłada wysoki stopień uporządkowania obiektywnego świata i to nie może być oczekiwane a priori.

1.2 Znaczenie filozofii Duhema w historii fizyki

Tezy powyższe 1.1 i 1.2 — o uporządkowaniu świata i przygodności wyjaśnień nie zostały wymyślone pod koniec XIX w.. Są to fundamenty obecne w pracy różnych wybitnych naukowców takich jak Newton, Ampere, Euler, a później także Einstein i odkrywcy mechaniki kwantowej. Duhem uzasadnił to w swoich pracach historycz-

²⁶(Albert Einstein, *A. Einstein, Letters to Solovine, translated by Wade Baskin, with an introduction by Maurice Solovine, p. 132-133.*)

nych. Pod koniec życia dostarczył też zdumiewających odpowiedzi, jak ta metoda powstała.

Grecy, Babilończycy, Egipcjanie i inne starożytne nacje znały podstawową arytmetykę, geometrię i elementy astronomii. Próby opisu całej reszty świata nie były jednak wcale podobne do astronomii i rzadko różniły się od mitów i fantazyjnych spekulacji. Pojęcie zrozumiałej organizacji świata pojawiało się okazjonalnie, ale dopiero u Platona stało się kluczowe, w teorii form i teorii porządku celowego. Ta zmiana orientacji usunęła jednak w cień doświadczenie; świat widzialny nie zdradza bowiem o sobie nic pewnego i niezmiennego; Platon bardziej cenił rozum i intuicję, niż doświadczenie. Świat widzialny Platon uznawał za niedoskonałe odbicie wiecznego i niezmiennego świata form.

Arystoteles powziął projekt pogodzenia myśli Platona z wnioskowaniem opartym na doświadczeniu i rzeczywistością świata widzialnego. Formy i porządek celowy były fundamentem nowego systemu. Formy Arystotelesa istniały jednak wyłącznie w rzeczach i odkryć je można było przez obserwację rzeczy. Dla Arystotelesa obserwacje odkrywają prawdę, bo świat widzialny jest prawdziwy. O ile więc Platon uznawał tylko matematykę i intuicyjną kontemplację form, Arystoteles proponuje nową naukę opartą o doświadczenie i parującą się widzialnymi rzeczami. Rzeczy podlegają przemianom, ale z uwagi na porządek celowy istnieją niezmiennie, uniwersalne regularności. Odkrycie tych regularności jest celem fizyki Arystotelesa.

Pokażemy, że ten program badawczy odniósł sukcesy i niektóre elementy pozostają wpływowe nawet po dziś dzień. Miał również wiele wad i wady te wiążą się z Tezami 1.1 i 1.2. Porządek celowy jako dążenie rzeczy i organizmów do tego, co najlepsze, jest nietrafionym wyjaśnieniem porządku fizyki. Np. zdaniem arystotelików planety powinny poruszać się po koncentrycznych kołach, bo tak jest idealnie, pomimo trudności pogodzenia tej tezy z obserwacjami²⁷. Podobnie księżyc powinien być ciałem jednorodnym, bo

²⁷Inaczej, niż w systemie Ptolemeusza czy Kopernika, które są bardzo dokładne, ale planety nie poruszają się po koncentrycznych kołach.

materia niebieska jest idealna, pomimo obserwacji, że na księżycu widać plamy. Celowość przywróciła wiarę w doświadczenie, ale zarazem brała nad nim górę, gdy np. odrzucano rzadkie obserwacje jako błędy w naturze.

Inny problem związany jest z Tezą 1.2. System logicznych relacji między obrazami obiektów nigdy nie będzie całkiem dokładną teorią fizyczną. Ani w fizyce Arystotelesa, ani w teorii Newtona, ani w innej — taki jest nasz świat. Jest to bardzo mylące (Arystoteles otwarcie krytykuje przygodność jako absurd²⁸), a póki tego nie rozumiano, fizyka trafiała na szklany sufit. Zobaczmy, że teoria ruchu naturalnego Arystotelesa nie tylko jest zgodna z doświadczeniem, ale również spójnie i precyzyjnie sformułowana; to jednak jest przyczyną zarówno sukcesów, jak i porażek.

Sytuacja się zmieniła dopiero wtedy, gdy odkryto tezę bardzo zbliżoną do Tezy 1.2. Oto ona:

Teza 1.6 *Jeśli mogę pomyśleć X , to X jest możliwe, o ile da się uzgodnić z doświadczeniem.*

Na przykład: Mógłbym usunąć z Ogólnej Teorii Względności założenie o zakrzywionej czasoprzestrzeni, o ile predykcje nowej teorii byłyby zgodne ze znanymi już eksperymentami²⁹. Mogę nawet pomyśleć, że grawitacja tworzy efekt odpychania, a nie przyciągania. To jest sprzeczne z doświadczeniem, ale mogę sobie wyobrazić inny wszechświat, w którym to zachodzi i stworzyć teorię takiego wszechświata³⁰. Tak oto Teza 1.6 jest narzędziem metody fizyki po dziś dzień. Oto zaś rozumowanie, z którego wyprowadzono tezę 1.6:

²⁸(Arystoteles, *Metaphysics*, translated by W. D. Ross) 1047b

²⁹Np. można sformułować teorię grawitacji w oparciu o zmienną prędkość światła, i teoria taka będzie równoważna rozwinięciu OTW w 1-rzędzie (Broekaert, “A Spatially-VSL Gravity Model with 1-PN Limit of GRT”), a więc zgodna z prawie wszystkimi obserwacjami. Różnica będzie tylko dla bardzo silnych pól grawitacyjnych, np. niektórych pulsarów.

³⁰Przykład niemal autentyczny, dziś w fizyce rozważa się takie nierealistyczne pomysły, by szukać rozwiązań problemów teoretycznych. Przykładem jest korespondencja AdS/CFT z (Maldacena,). Jest to obecnie najczęściej cytowany artykuł z fizyki.

Podteza 1.6.1 *Jeśli mogę pomyśleć X, to Bóg mógłby stworzyć X (bo jest wszechmocny), więc błędem w wierze jest założyć, że X jest niemożliwe.*

Teologowie scholastyczni opracowali powyższą tezę do II połowy XIII w. i zastosowali ją do wszelkich stwierdzeń o logicznej niemożliwości w świecie widzialnym. W efekcie niektóre tezy Arystotelesa odrzucono, a inne stały się jednymi z wielu, fizyka bowiem przeobraziła się w system konwencji i hipotez. Zarazem organiczno-celowy obraz świata, jaki wytyczył Platon i Arystoteles stracił aktualność, ustępując miejsca nowemu obrazowi świata działającego według niezmiennych i zrozumiałych praw, narzuconych przez Stwórcę. To również jest wnioskiem teologii.

Jednym z pierwszych wniosków była definicja wielkości fizycznej. Przez teorię form Arystoteles stworzył podstawy, by postrzegać własności i relacje obiektów jako coś istniejącego, torując drogę interpretacjom teoretycznym Tezy 1.3. Było parę kluczowych ograniczeń. Teologowie nadali wielkości liczbowe intensywności dowolnej formy i wykorzystali tą doktrynę, by formułować formy drugiego rzędu (np. prędkość) i prawa proporcjonalności między formami. W ten sposób odkryto m.i. prawo drogi w ruchu przyspieszonym i prawo spadku swobodnego.

Te nowe zasady stały się podstawą rozwoju nowej nauki — dynamiki, kinematyki i kosmologii scholastycyzmu. Buridan, Oresme, de Soto, da Vinci i inni, dokonali szeregu kluczowych odkryć, torując drogę do dynamiki Newtona. Wpływ tych odkryć na szkołę Galileusza jest łatwy do wykazania³¹.

Oto więc wniosek, który nazwiemy historyczną tezą Duhema:

Teza 1.7 *Fizyka nowożytna i metoda fizyki jest wytworem scholastycyzmu na fundamencie fizyki Arystotelesa. Istnienie zrozumiałego niezmiennego porządku świata (Teza 1.1) i przygodność wyjaśnień naturalnych (Teza 1.2) jest wnioskiem scholastycznej teologii,*

³¹(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 252

2 Fizyka do XIII w.

2.1 Filozofowie jońscy

Oto pierwsze pytanie nauki Starożytnych Greków³²:

Z czego jest zrobiony świat i jak z tego czegoś powstają oddzielne rzeczy?

Jońscy filozofowie przyrody (physiologoi) byli pierwszymi, którzy spróbowali odpowiedzieć, czym to jest, tak zwane "arche". Tales mówił, że "woda", Anaksymenes "powietrze", Anaksymander, że "bez-kres".

Tales nie miał tu na myśli czegoś w rodzaju "czystego H₂O", związku który widzimy jako parę, lód, czy płynną wodę. Raczej chodzi o płynny stan skupienia i rolę w przemianach w naturze, jako element najbardziej podatny na zmiany³³. Wynika to z wizualnej analogii —woda wlana do garnka przybiera zawsze kształt naczynia, zaburzona wiatrem faluje, wylana rozlewa się na wszystkie strony. "Płynna kosmiczna materia była dla Talesa w ciągłym ruchu."

Obrazowe spekulacje dominują w nauce filozofów jońskich. Wyobrażali sobie płaską Ziemię unoszącą się na wodzie, podobnie do tratwy, albo też gwiazdy jako dziury w wielkiej obręczy pełnej ognia —podobnie jak ognisko widziane przez sito z wikliny. Materia "arche" była też nośnikiem wszelkich zmian i aspektów ożywionych świata ("O siłach poruszających materię i różnych od niej Tales nie nauczał niczego"³⁴. Filozofowie jońscy pozostawali pod wpływem nauki Egipcjan³⁵); od nich zapewne Tales przejął przypisywane mu twierdzenie o porpcjach trójkątów.

Wiemy o nauce physiologoi niewiele. Pisma autorów się nie zachowały, znamy te doktryny z nielicznych wzmianek. Więcej wiadomo o głośnym sporze filozoficznym, który nastąpił niedługo potem,

³²Pisze (Windelbrand, *History of Ancient Philosophy*), s. 36

³³(tamże), s. 38

³⁴(tamże), s. 38

³⁵(tamże), s. 22

na gruncie przeciwności między tradycyjnym panteonem antropomorficznych bożków, a monizmem filozofów jońskich. Wędrowny poeta i filozof Ksenofanes głosił, że podobne do człowieka bożki są wymysłem, uczynionym przez ludzi na swoje podobieństwo³⁶. Doktrynę physiologii Ksenofanes rozwinął po swojemu — stwierdził bowiem, że ”arche“, początek wszystkich rzeczy, to panteistyczny Bóg czy też Bóstwo. Bóg Ksenofanesa jest identyczny ze światem, nie ma początku i końca. Wszystkie widzialne rzeczy są ”jedną, niezmienną, uniwersalną esencją“. Pojawia się pewien problem: jeśli ”esencja rzeczy” się nie zmienia, a mimo to widzimy zmiany w przyrodzie, to czymże one są? Ksenofanes nie dał odpowiedzi, ale myśl kontynuował Parmenides.

Parmenides, wskazując że negatywne stwierdzenia o istnieniu są problematyczne. Myśl odnosi się do czegoś istniejącego. Nieistnienia nie da się pomyśleć, więc coś co istnieje, nie może nie istnieć. W efekcie nie sposób myśleć o przemianie, przemiana bowiem jest przejściem z nieistnienia czegoś do istnienia (albo odwrotnie). Oto fragmenty poematu Parmenidesa³⁷

Co ma być powiedziane i pomyślane, musi z konieczności być. Jest bowiem być, nic natomiast nie jest. (...) Nigdy nie było ani nie będzie, bo jest teraz, całe razem, jedno, ciągłe. Jakich bowiem jego narodzin szukałbyś? Jak i skąd wzrosło? Nie pozwolę ci pomyśleć ani powiedzieć, że z nie istniejącego. Ani bowiem powiedzieć, ani pomyśleć nie można, że nie jest. I jaka potrzeba sprawiłaby, że później raczej niż wcześniej wzrosłoby, poczynając od niczego? Dlatego też musi być albo całkowicie, albo wcale. Siła przekonywania nigdy też nie dopuści, by poza nim powstało cokolwiek z nie istniejącego.

Jasne jest zdanie ”istnieje słon afrykański” — możemy wskazać na słonia w ZOO. Trudniej zrozumieć coś w rodzaju ”nie istnieje

³⁶(Windelbrand, *History of Ancient Philosophy*), s. 47

³⁷(Jacek Lang, *O Parmenidesie, Fragment poematu Parmenidesa zachowany w dziele Simplikiosa*)

Wielka Stopa”. Ktoś mógłby powiedzieć: Wielka Stopa to pewien nieznanym gatunek małpy, ale to nadal nie jest dokładne. Ktoś inny może wyobrazić sobie Wielką Stopę jako coś innego. Niejasność pojawia się, gdy chcemy mówić o czymś, czego nie znamy, wyciągając wnioski z obrazów w naszych myślach. Ziemia może sobie dryfować w bezkresnym oceanie według przepisu Talesa, albo też, jak woleli Hindusi opierać się na grzbiecie czterech słoni, które z kolei stoją na wielkim żółwiu. Jedno i drugie jest obrazem namalowanym z obiektów znanych z doświadczenia. Nie znamy jednak zależności między obiektami: czy płaska Ziemia pływa po wodzie, czy może raczej powinna w niej tonąć? Powstawanie obiektów z “arche” następuje większych trudności. Myśląc o nieistnieniu słonia musimy przywołać istniejącego słonia —na to właśnie wskazuje Parmenides. Nie sposób myśleć o przemianie, mimo, że przemiany są wokół nas. W efekcie doświadczenie świadczy coś niezgodnego z myślą. Albo myśl, albo doświadczenie jest w błędzie. Parmenides uważa, że to doświadczenie wie dzie na manowce.

Kolejni filozofowie przyrody: Empedokles, Anaksagoras i Demokryt próbowali sobie poradzić³⁸ z powyższym problemem. Przyznali, że nie można pomyśleć by coś co “jest” tzn. esencjalnie istnieje, nie istniało wcześniej. Ale to nie szkodzi, opisując przemianę możemy rozumieć “jest” inaczej. “Jan został lekarzem” to pewna przemiana. Jan istniał zanim został lekarzem i istnieje nadal. Podobnie w każdej innej przemianie można założyć, że to, co widzimy jako giniecie i powstawanie jest w rzeczywistości zmianą własności substratu który istnieje wiecznie (materii, atomów itd).

2.2 Od Heraklita do Platona

Pomysł istnienia zrozumiałego porządku świata przyszedł nie od filozofów przyrody, a od pitagorejczyków, Heraklita, Sokratesa i Platona; filozofów zajmujących głównie się etyką i metafizyką. Heraklit twierdził, że istnieje Logos, racjonalny rozum rządzący całym

³⁸(Meyer, *Ancient Philosophy: Plato and his Predecessors*)

światem³⁹. Zdaniem Heraklita człowiek może poznać Logos badając wnętrze swojego umysłu i dostrzec ukrytą harmonię w rzeczywistości zarówno moralnej, jak i też fizycznej.

Sokrates podał oryginalną krytykę spekulacji filozofów przyrody. Wskazaliśmy, że podawali oni wyjaśnienia w rodzaju: Ziemia jest nieruchoma, bo ma płaski spód, utrzymywany przez masę powietrza. Planety to małe dziurki w “wielkiej obręczy wypełnionej ogniem”⁴⁰. Sokrates nie uznaje tego za prawdziwe wyjaśnienia; nic z tego nie odpowiada na pytanie, dlaczego *lepiej* by Ziemia spoczywała, dlaczego *lepiej* dla planet poruszać się tak, jak się poruszają. Sokrates nie był przy tym wcale zwolennikiem badania natury, porównuje raczej физиологи do ludzi, którzy stracili wzrok patrząc na zaćmienie Słońca. To ostatnie jest przytykiem wobec egzystencjalnego bezsensu materialistycznego świata⁴¹. Opinię Sokratesa znamy od Platona, który ją twórczo rozwinął w ramach własnego systemu filozoficznego⁴². Platon wskazuje, że na gruncie przypadku i nieożywionej materii nie sposób pojąć świata biologii. Drzewo jest czymś więcej niż materia z której się składa drzewo. Jeśli porzniemy drzewo na trociny i wióry, to sterta trocin, złożona z tej samej materii, już nie będzie drzewem. Drzewo rośnie, wypuszcza liście, zwraca liście ku słońcu, tworzy nasiona i orzechy z których mogą wyrosnąć kolejne drzewa. Dla Platona drzewo to przede wszystkim forma; “projekt” drzewa, który raz po raz urzeczywistnia się w materii. Tak oto w naturze istnieją przyczyny celowe, które “działają inteligentnie, by tworzyć to, co dobre i porządne”.

Powszechnie uznanym wkładem Platona do filozofii jest teoria form właśnie; nie ogranicza się ona bynajmniej do form odnoszących się do przestrzennej czy przyczynowej organizacji rzeczy i istot żywych (forma kota, forma drzewa, forma domu itd.). Wstępnym gruntem pod teorię są dialogi Sokratejskie⁴³ i pytania, czym są sprawie-

³⁹(Windelbrand, *History of Ancient Philosophy*), s. 56

⁴⁰(Jaki, *The Relevance of Physics*), s. 10

⁴¹(Jaki, *Science and Creation*), s. 105

⁴²(Jaki, *The Relevance of Physics*), s. 11

⁴³(Silverman, “Plato’s Middle Period Metaphysics and Epistemology”), par.

dliwość, pobożność, odwaga itd. (to właśnie będą przykłady form). Następnie Platon rozwija doktrynę, że formy istnieją rzeczywiście w świecie pozazmysłowym, niezienne, poza czasem i przestrzenią. Człowiek zaś jest nieśmiertelnym duchem uwięzionym w ciele, i ten duch przypomina sobie formy⁴⁴. W “Republice” Platon twierdzi, że sprawiedliwość czy pobożność to właśnie przykłady wiecznych form w świecie idei. Twierdzi, że wrażenia zmysłowe nie są wiedzą; świat widzialny jest jakby niedoskonałym odbiciem świata idei — to świat idei jest bardziej prawdziwy, a poznanie form jest prawdziwą wiedzą. Słynna jest analogia jaskini⁴⁵: więźniowie przykuci łańcuchami w jaskini, patrząc w stronę ściany, widzą tylko cienie osób przechodzących obok wejścia. Cienie to świat zmysłowy, jedynie niejasne odbicie prawdziwego świata idei.

Powyższy antyempiryzm nie pomaga Platonowi interesować się obserwacjami i doświadczeniem. W “Timajosie” podał spekulacyjną, teleologiczną kosmologię⁴⁶, według której świat jest produktem “racjonalnej, celowej i dobroczynnej siły sprawczej”. Kosmologia ta jest w dużej części kosmologią Pitagorejczyków. twierdzi, że: świat ma rozum i duszę, Ziemię otacza 8 sfer niebieskich i istnieją 4 żywioły: ziemia, ogień, powietrze i woda. Różne aspekty tłumaczy w oparciu o porządek celowy: na przykład każdy z 4 żywiołów składa się z cząstek w kształcie wielościanów foremnych, bo tak jest idealnie⁴⁷. Platon także pod koniec życia zaadaptował rodzaj “heliocentryzmu”, inspirując się doktryną Pitagorejczyków⁴⁸. Ci uważali, że w środku świata znajduje się ogień, jako bardziej szlachetny, a Ziemia krąży wokół niego. W tym właśnie środku Platon umieszcza Duszę Świata, jako w najbardziej godnym miejscu.

1

⁴⁴(Silverman, “Plato’s Middle Period Metaphysics and Epistemology”), par.

2

⁴⁵(tamże), par. 13

⁴⁶(Zeyl i Sattler, “Plato’s Timaeus”), par. 1

⁴⁷(tamże), par. 1

⁴⁸(P. M. Duhem, *Le Systeme du Monde, t. 1*), s. 91

2.3 Fizyka Arystotelesa

Do tej pory na filozoficznym horyzoncie nie ma niczego, co przypominałoby fizykę. Dominują dalekosiężne spekulacje, wątpliwości wobec wartości poznania zmysłowego i liryczne formy literackie. Najbliższą fizyki jest Platon, obserwując, że świat jest regularny i zorganizowany. Platona jednak również mało obchodzi doświadczenie⁴⁹. Sens jego argumentu jest taki: chcemy osiąść wiedzę która jest wartościowa: np. pewna, precyzyjna i niezmienna. Przykładem są twierdzenia matematyki i geometrii: są koniecznie prawdziwe na podstawie dowodu i nie ulegają zmianom, niezależnie od faktów w świecie. Świat fizyczny jednak nie zdradza takiej wiedzy; rzeczy wszak powstają i giną — nie mogą być wieczne, a poznanie zmysłowe jest niedokładne. Należy więc się raczej skupić na wiecznym i idealnym świecie form. W efekcie platonistów interesuje tylko matematyka i “intuicyjna kontemplacja wiecznych form” — teologia.

Arystoteles stworzył nowy system, uznając poznawczą wartość doświadczenia i jednoznaczny realizm świata widzialnego, a zarazem adoptując wiele od Platona (przede wszystkim pomysł porządku celowego i teorii form). Streśmy krótko najważniejsze jego tezy, które zaraz wyłożymy w szczegółach.

Pogląd 2.3.1 *Świat widzialny istnieje i można poznać go przez doświadczenie.*

Pogląd 2.3.2 *Formy istnieją wyłącznie w obiektach. Formy poznajemy zmysłami, obserwując obiekty. Gdy badamy wiele podobnych obiektów umysł odkrywa wspólną im formę, na gruncie indukcji.*

Pogląd 2.3.3 *Natura jest wewnętrzną zasadą przemiany; natura działa w sposób celowy; celem przemian naturalnych jest forma.*

Ekstrapolacja powyższych zasad przy pomocy logiki i doświadczenia będzie metodą fizyki Arystotelesa. Wśród jej podstawowych wniosków znajdziemy teorie miejsca, czasu, próżni i wielu światów — wszystko to będzie nas interesować później.

⁴⁹(P. M. Duhem, *Le Systeme du Monde*, t. 1), s. 135

2.3.1 Formy i zasada indukcji

U podstaw systemu leży teoria form Platona, ale formy Arystotelesa są inne: istnieją tylko i wyłącznie w widzialnych obiektach. Pomysł pozazmysłowego świata idei Arystoteles krytykował⁵⁰. Po pierwsze, jeśli formy naprawdę istnieją w świecie idei, to muszą istnieć oddzielnie od rzeczy widzialnych. Więc to, co widzimy zmysłami to nie jest rzecz, rzecz jest gdzie indziej. Albo więc rzecz widzialna jest fatamorganą, jak uważa Platon, albo są dwie rzeczy naraz, a nie jedna, co jest absurdem.

Więc obiekty astronomii byłyby oddzielne od widzialnych rzeczy, i również obiekty geometrii; ale jak niebiosa i ich części (albo i cokolwiek innego w ruchu) istnieją oddzielnie od widzialnych niebios? I podobnie obiekty optyki i harmoniki byłyby oddzielne, bo byłyby dźwięk i widok oddzielnie od poszczególnych obiektów. Jasne jest, że inne wrażenia zmysłowe i ich obiekty istniałyby oddzielnie;

W tym samym ustępie wskazuje, że nie jest jasne, w jaki sposób obiekt matematyczny (który również u Platona istnieje w świecie idei) mógłby istnieć inaczej niż w rzeczach widzialnych:

...ale w jakim sensie linie są substancjami? Nie jako forma, nie jako kształt, jak na przykład dusza, ani też nie będąc materią, jak ciało; gdyż nie wydaje się by cokolwiek mogło być złożone z linii, płaszczyzn albo punktów; gdyby była to materialna substancja byłoby jasne, że można z niej tworzyć rzeczy.

Substancja znaczy coś rzeczywiście istniejącego, niezależnie od innych obiektów. Pyta więc: w jakim sensie linie są rzeczywiste — i nie wydaje się by istniała odpowiedź na to pytanie. Dwie powyższe trudności można rozwiązać odrzucając świat idei i uznając istnienie

⁵⁰(Arystoteles, *Aristotle in 23 Volumes, translated by H. Tredennick*), 1077 b

rzeczy widzialnych. Jeśli formy istnieją tylko w rzeczach widzialnych to można przywrócić do łask poznanie zmysłowe. Poznajemy ogólnik “drzewo” oglądając wiele drzew i odkrywając, co jest wspólne między nimi. Arystoteles proponuje rodzaj indukcji⁵¹, wskazując, że nie sposób się bez niej obyć poznając ogólniki:

Demonstrację wyprowadzamy z ogólników, indukcję z pojedynczych przypadków; ale ponieważ da się zapoznać ucznia nawet z tzw. abstrakcjami matematycznymi tylko przez indukcję — tzn. tylko dlatego, że każdy rodzaj podmiotu posiada (...) pewne własności, które mogą być traktowane jak oddzielne, chociaż nie istnieją w izolacji — w efekcie jest niemożliwe poznać ogólniki inaczej niż przez indukcję.

Jak uczy my dzieci arytmetyki? Na ogół licząc patyki, palce albo cukierki. Nawet abstrakcje matematyczne poznajemy w oparciu o zmysły i indukcję, mówi Arystoteles: wieczna i niezmienna wiedza matematyczna w praktyce wcale nie jest niezależna od świata widzialnego. Następnie Arystoteles stawia wniosek, że rzeczy, których nie widać, są poza zasięgiem filozofii naturalnej:

Ale indukcja jest niemożliwa dla tego, czego nie widzimy zmysłami. Bo tylko percepcja zmysłowa może pojąć konkret; rzeczy te nie mogą być obiektem wiedzy naukowej, bo ani ogólniki nie dadzą nam wiedzy o nich bez indukcji, ani nie możemy dostać tej wiedzy przez indukcję bez percepcji zmysłowej.

Zobaczymy, że Arystoteles przyjmuje różne tezy o rzeczach poza granicami percepcji, wyprowadzając ogólniki przy pomocy indukcji, a następnie dedukując wnioski tych praw. Wnioski te jednak ignorują istnienie rzeczy, które wymykają się doświadczeniu.

⁵¹(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 133, (Arystoteles, *Aristotle in 23 Volumes*, translated by H. Tredennick) 81 b

W innym fragmencie, który przytacza Duhem⁵², Arystoteles rozważa przykład zaćmienia Słońca. Możemy widzieć zaćmienie Słońca stojąc na Księżycu i widząc w danym momencie jak Ziemia przesłania nam Słońce, ale to nie sprawi, że poznamy przyczyny. Dopiero obserwując zjawisko wiele razy możemy to zrobić. Można to wyjaśnić następująco: widząc jak Ziemia powoli przesłania coraz większą część tarczy słonecznej, mogą odgadnąć zależność zaćmienia od wzajemnego położenia Ziemi, Słońca i Księżyca.

2.3.2 Problem “arche”.

Księga I “Fizyki” zaczyna się nieco tajemniczym fragmentem o poznawaniu od “tego, co jasne dla nas”, do “tego, co jasne dla natury”⁵³

Dla nas jasne i wyraźne jest przede wszystkim to, co już mocniej zostało zespolone; rozczłonkowując to samo później uzyskujemy lepszą wiedzę o elementach i zasadach.

Elementy to “pierwiastki”, a “zasady” to wspomniane wyżej “arche”. W “Analitykach Wtórych”⁵⁴ Arystoteles pozornie zdaje się mówić coś odwrotnego, ale kontekst wypowiedzi jest inny. Tam mowa o poznaniu ogólników z konkretów, znamy bowiem konkrety zmysłami, ale nie znamy ogólników. Tutaj mowa o poznaniu rzeczy i ich ogólników najpierw (bo lepiej je znamy), a pierwiastków i arche dopiero później (bo ich nie widać). Jest to kluczowa różnica między fizyką (po dziś dzień), a spekulacyjną filozofią. Filozofowie jõesy próbowali odgadnąć bazowy substrat rzeczywistości. Arystoteles wskazuje, że powinniśmy badać widzialne rzeczy jako całości; dopiero to może odkryć tajemnice tego, jak urządzony jest świat. Powyższa teza wygląda na opartą na dalszej⁵⁵ krytyce filozofów zajmujących

⁵²(Arystoteles, *Aristotle in 23 Volumes*, translated by H. Tredennick) 87 b

⁵³(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 184a

⁵⁴Zob. wspomniane paragrafy 81b i 87b.

⁵⁵(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 184a-186a)

się problemem arche. Nie ma tam zgodności: jedni zakładają jedno arche, inni dwa lub trzy lub więcej, inni nieograniczoną liczbę. Arche może podlegać przemianom, albo i nie. Arystoteles wskazuje, że ta druga opinia: istnienie jednego niezmiennego bytu, nie jest przedmiotem filozofii przyrody, gdyż odrzuca jej podstawowe zasady: “My filozofowie przyrody, musimy przyjąć jako zasadę” że ”przynajmniej niektóre przedmioty natury” ulegają przemianom, co wiemy z doświadczenia. Dalej wskazuje, że stwierdzenia w rodzaju “wszystko jest jednością” są nieprecyzyjne, bo zarówno “wszystko” jak i “jedność” można różnie rozumieć. Co więcej, nie da się go odczytać w zadowalający sposób. Jeśli np. przyjąć, że wszystko zawiera rzeczy i jakości (koń, stół, człowiek, białosc gorąco) to wszystko jest wielością, a nie jednością. Albo też, jeśli według zdania Heraklita nawet własności przeciwne są tym samym, to równie dobrze wszystko może być niczym. Podobnie Arystoteles odpiera argumenty eleatów⁵⁶ Melissosa i Parmenidesa:

...dlaczego ma z jedności bytu wynikać nieruchomość? Skoro ta, czy inna część stanowiąca jedność, jak na przykład określona cząstka wody, porusza się w sobie, to dlaczego nie może się poruszać całość? Dlaczego nie miałyby być zmian jakościowych? Przecież byt nie może stanowić jedności pod względem formy, chociaż może być pojmowany jako jedność ze względu na materiał, z którego jest utworzony. W tym ostatnim znaczeniu, lecz nie w pierwszym, niektórzy spośród filozofów przyrody nazywają byt jednością; wszak człowiek różni się od konia formą(...)

Jego (Parmenidesa —K. Z.) przypuszczenie, że byt należy rozumieć wyłącznie w sensie jedności absolutnej jest fałszywe, gdyż byt pojmowany jest wielorako. A wniosek jego nie wynika z przesłanek, bo gdyby nawet przyjąć, że istnieją wyłącznie rzeczy białe, i gdyby pojęciu

⁵⁶(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 186a

białe nadać sens jedności absolutnej, to i tak rzeczy białych będzie wiele, a nie jedna.

Krytyki różnych stanowisk jest więcej, poprzednicy Arystotelesa głoszą rzeczy niezgodne ze zdrowym rozsądkiem i użycie logiki pozwala wyprowadzać z ich opinii różne sprzeczności. Pod koniec Księgi I pojawia się analiza, jak coś może powstać z niebytu⁵⁷:

Twierdzili mianowicie oni, że nic nie powstaje, ani nie ginie, ponieważ wszystko, co powstaje mogłoby powstać albo z tego, co nie istnieje, albo z tego co istnieje;

ani jedno ani drugie nie jest możliwe możliwe, bo:

...co istnieje nie może powstać, wszak już istnieje; a z tego, co nie istnieje, nic nie może powstać, ponieważ już musi coś być jako substrat.

To znaczy, niebytu musi być stanem istniejącym, by coś mogło z niego powstać i jednocześnie stanem nieistnienia (bo niebytu to niebytu). Arystoteles odpowiada, że powstawanie z niebytu nie jest “z niebytu” jako takiego. Niemniej drzewo może powstać “z niebytu” w sensie takim, że wcześniej drzewa nie było, a nie w sensie, że bez żadnych składników, bez nasion, wody, gleby, słońca itd. Takie powstawanie jest możliwe, mimo niemożliwości (zdaniem Arystotelesa) powstawania z niebytu absolutnego. Ten argument prowadzi do dyskusji zaadaptowanego od Platona wyróżnienia materii, formy i braku. Brak to niebytu absolutny, a materia to niebytu formy; materia to możliwość by urzeczywistnić pewną formę, tworząc drzewo, zwierzę, albo stół. Tym sposobem Arystoteles może usunąć kłopotliwe założenie Platona, że coś może powstać z niebytu.

2.3.3 Cztery przyczyny

Mówiąc o przyczynie zaćmienia Księżyca odpowiadamy, że Ziemia przesłania Słońce, przez co na Księżycu robi się ciemno. Jest to

⁵⁷(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 191a

przyczyna sprawcza, i zajmowanie się tego rodzaju przyczynami to ważne odkrycie Arystotelesa. Dzięki obserwacjom poszczególne zjawiska mogą być powiązane w ciągi przyczyny i skutku przez odniesienie do ogólniejszych praw; w ten sposób możemy zrozumieć świat. Dziś odpowiadając dlaczego kopnięta piłka leci, albo dlaczego radio działa, albo dlaczego samochód jeździ spalając benzynę mamy na myśli głównie przyczyny sprawcze — prawa mechaniki, elektromagnetyzmu, termodynamiki i warunki początkowe, z których wynikają konkretne wyniki tych praw (noga uderza piłkę, modulowany sygnał płynie przez antenę nadawczą itd.). Oprócz przyczyn sprawczych Arystoteles wymienia też trzy inne, i znalezienie ich jest przedmiotem filozofa natury. Arystoteles uważa, że filozofia naturalna zajmuje się pytaniami “dlaczego”⁵⁸:

...przedmiotem naszych roztrząsań jest poznanie, a poznanie uważamy za równoznaczne ze zrozumieniem “dlaczego”.

Można na te pytania odpowiedzieć⁵⁹ na cztery sposoby: wskazując formę, materię, cel i wspomnianą przyczynę sprawczą⁶⁰. Forma i cel pełnią zbliżoną rolę, jak u Platona: struktury obiektu i planu, dla którego obiekt powstał⁶¹:

...nazywa się wreszcie przyczyną cel, czyli przyczynę celową, np. zdrowie jest przyczyną spaceru, dlaczego spaceru pytamy? ”Ażeby spacerujący był zdrow”.

Materia odpowiada, z czego rzecz powstaje. Rozważmy przykład: dlaczego piła piłuje drewno?

⁵⁸(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), ks. 2, par. 3

⁵⁹(tamże), ks. 2, par. 3

⁶⁰Tłumaczenia Arystotelesa z greckiego piszą o czterech przyczynach: przyczynie materialnej, przyczynie formalnej, przyczynie sprawczej i przyczynie celowej. Jest to kalka z greckiego, która nie odpowiada typowemu użyciu słowa “przyczyna” —bardziej pasuje “wyjaśnienie”, “rzecz odpowiedzialna za”. To ostatnie ma poparcie w etymologii słów greckich (Aristotle, *Aristotle on his predecessors; being the first book of his Metaphysics. Translated from the text ed. of W. Christ with introduction and notes by A.E. Taylor*), s. 152

⁶¹(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), s. 331, przypisy

- bo jest z żelaza⁶² (materia);
- bo ma zęby i uchwyt (forma);
- bo zęby uderzają wielokrotnie w drewno, odłupując drobiny (przyczyna sprawcza);
- bo ma powstać deska (cel).

Reasumując:

Pogląd 2.3.4 (*Arystoteles*) *istnieją cztery przyczyny zjawisk naturalnych: formalna, sprawcza, materialna i celowa.*

Inne przyczyny pojawiają się u Platona (forma i cel) i jońskich filozofów przyrody (materia). Arystoteles krytykuje tych ostatnich za skoncentrowanie się na przyczynach materialnych⁶³: fizyka filozofów jońskich polega na ślepych przypadkach; wszystko to martwa materia, oddziałująca w losowy sposób. Ale przypadek nie tworzy regularności, nie powtarza niczego w sposób regularny.

2.3.4 Natura.

Księgę II "Fizyki" Arystoteles rozpoczyna wskazując różnicę między wytworami ludzkimi, a obiektami naturalnymi⁶⁴. Wyjaśnijmy tę różnicę na przykładach. Kot, pies, koń, drzewo i człowiek są obdarzone zdolnością samoistnych przemian: ruchu, wzrostu, dorastania, starzenia, zmiany kształtu itd. Podobnie też metale i minerały są obdarzone tendencjami przemiany. Miedź śniedzieje, żelazo rdzewieje, bryłka soli rozpuszcza się w wodzie, skała ulega erozji. Kamienie toną i spadają, ogień unosi się ku górze. Rzemieślnicy nie potrafią nadać swoim dziełom żadnej podobnej własności, ani zmienić. Głownia siekiery spada w dół tak samo jak każdy kawałek metalu. Marmurowy

⁶²Arystoteles używa określenia materia w sposób relatywny, żelazo jest materią relatywnie do piły, ale to nie znaczy, że żelazo jest materią bez żadnej formy — zob. (Robinson, "Substance") 2.2.2

⁶³(Jaki, *The Relevance of Physics*), s. 14

⁶⁴(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 2.1.

posąg chłopca nie urośnie do rozmiarów dorosłego, choć kształt ma podobny jak chłopiec. Drewniane łóżko, jeśli wypuści pędy, to wyrośnie z tych pędów drzewo, a nie drugie łóżko. Arystoteles stwierdza, że obiekty stworzone przez naturę mają wewnętrzną tendencję przemiany, którą nazywa naturą obiektu.

Pogląd 2.3.5 (*Arystoteles*) *Natura obiektu jest to jego wewnętrzna zasada przemiany lub spoczynku.*

Teza ta pozwala dobrze opisać bardzo szeroki zakres zjawisk, a dziś jest ewidentnie błędna tylko w jednej części: tłumaczy bowiem fizykę w oparciu o tą samą zasadę co świat ożywiony. Za czasów Arystotelesa słusznie nie było to uznane za błąd; nie było (prawie) doświadczeń, które by ją podważały. Co więcej taki wniosek bardzo dobrze odpowiada znanym dziś obiegowym pojęciom racjonalności jak np. brzytwa Ockhama czy neopozytywizm (utrzymujący, że różnice między różnymi dziedzinami nauki mają być tylko umowne). Po co mieć oddzielne zasady przemiany dla kamieni i dla zwierząt, skoro lepiej mieć jedną?

Dalej stawia pytanie, czy natura jest formą, czy materią, i odpowiada, że natura jest w pierwszej kolejności formą: "rzecz bowiem trafniej nazywa się tym czym jest, gdy się urzeczywistnia, nie zaś, gdy istnieje potencjalnie". Łatwo zobaczyć, że dla zwierząt i roślin jest to rozsądne: koń wykazuje charakterystyczną dla siebie tendencję przemiany wtedy, kiedy najbardziej urzeczywistnia formę konia: młody i zdrowy koń zjada trawę i owies, galopuje, rży itd. Stary, albo chory koń traci swoje typowe zachowania —upośledzenie formy pociąga za sobą upośledzenie tendencji ruchu.

Nieco dalej⁶⁵ pojawia się istotna kwestia: czy natura działa w ustalonym celu i należy do klasy przyczyn celowych, czy też nie. Arystoteles odpowiada z pewnością, że natura musi być przyczyną celową, bo liczne zjawiska naturalne są regularne i nie ma innego wyjaśnienia tego faktu, niż porządek celowy. W efekcie świat natury jest, co do zasady, regularny i zrozumiały —ta obserwacja pozwala Ary-

⁶⁵(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 2.8

stotelesowi badać prawa fizyki (niestety organiczne i teleologiczne wyjaśnienia często nie będą trafne). Wyjaśnić jeszcze należy, co jest celem, do którego natura dąży. Celem tym jest *forma*. Podsumujmy:

Pogląd 2.3.6 (*Arystoteles*) *Natura jest wewnętrzną zasadą przemiany, która dąży w sposób celowy do urzeczywistnienia natury jako formy.*

Dąb wyrasta z żołądzia, najpierw jako zielona łodyga, a potem coraz grubsze drzewo. Po około 20 latach dąb zaczyna wytwarzać żołądzie, z których mogą wyrosnąć nowe dęby. W ten oto sposób natura dębu działa w sposób celowy, ku urzeczywistnieniu formy dębu.

2.3.5 Ruch naturalny i miejsce.

Powyzszą teorię Arystoteles stosuje także do ruchu postępowego. Ciała stałe (na ogół) opadają w dół, opary lotne unoszą się ku górze. Metale toną, powietrze wypuszczone pod wodą uchodzi do góry. Te zjawiska muszą być ujęte w ramach porządku celowego i form. Te zjawiska są bardzo szeroko spotykane. Drzewo i koń mają swoje własne natury: ale zarazem też obdarzone są tendencją spadania, podobnie jak kamienie. Powinien więc istnieć składnik wspólny obdarzony własną naturą.

Arystoteles⁶⁶ postuluje materię pierwszą, która nie ma żadnej formy i jest zachowana we wszelkich przemianach. Ta materia może przyjąć własność mokrą albo suchą i zarazem gorącą, lub zimną. W ten sposób istnieją 4 pierwiastki (elementy, żywioły itd.) — ogień (gorący suchy), powietrze (gorący mokry), ziemia (chłodny suchy), woda (chłodny mokry). Pierwiastki występują zmieszane w ciałach materialnych.

Natury tych pierwiastków (zasady ruchu) zakładają dążenie do naturalnego miejsca, i miejsce to jest celem. Kamień chce spadać do środka Ziemi, bo tam jest jego miejsce. Żywioł ognisty unosi się ku górze, do sfery ognia, która znajduje się nieco niżej, niż ciała niebieskie.

⁶⁶(Ainsworth, "Form vs. Matter"), 2

Teoria ta ma parę problemów. Ruch periodyczny ciał niebieskich nie dąży do żadnego celu, bo ciągle wygląda tak samo. Arystoteles musi więc uznać wyjątek, opierając się nieco na Platonie i innych filozofach: niebiosa są zrobione z piątego elementu, idealnej niebiańskiej materii, która jest ”wyłączona z powstawania, niszczenia i przemiany, i wykonuje obroty niebieskie jako swój ruch naturalny“⁶⁷.

Inny kluczowy problem dotyczy dynamiki na Ziemi. Arystoteles definiuje ruch postępowy jako ”zmiana miejsca“⁶⁸. Co więcej, teoria ruchu naturalnego odnosi się do naturalnego miejsca jako do celu (do którego ma wpaść np. kamień). Miejsce musi być więc czymś rzeczywistym, naturalne miejsce oddziałuje nawet na ciało⁶⁹:

Dalej: zmiana miejsc elementarnych ciał naturalnych, takich np. jak ogień, ziemia itp. wykazuje nie tylko to, że miejsce jest czymś, ale i to, że wywiera ono pewien wpływ; mianowicie każde ciało elementarne dąży do właściwego sobie miejsca, jeśli tylko nic nie stanie mu na przeszkodzie.

Miejsce nie może być formą ciała, gdyż nie jest częścią ciała; jest na zewnątrz. Arystoteles uważa, że być ”w miejscu“, to jak być w naczyniu, albo skrzyni: np. wino jest w amforze, moneta jest w skrzynce, podobnie jak piłka jest ”w miejscu“⁷⁰. Z tego rozumienia wynika, że:

- Miejsce nie jest formą, ani materią zawartości, ani częścią zawartości. Miejsce może być oddzielone od zawartości⁷¹,
- Miejsce otacza bezpośrednio swoją zawartość⁷²,

Arystoteles uważa, że miejsce to warstwa materii otaczającej ciało. Np. warstwa wody otaczająca łódź jest miejscem, warstwa

⁶⁷(Bodnar, “Aristotle’s Natural Philosophy”), przypis. 34

⁶⁸(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 208a

⁶⁹(tamże), 208b

⁷⁰(tamże), 210a

⁷¹(tamże), 210b-211a

⁷²(tamże), 210b

powietrza otaczająca człowieka jest miejscem. Jeśli człowiek uniesie rękę, nie ruszając innych części ciała, to jego miejsce się zmieni. Powyższe nie zadziała oczywiście dla sfer niebieskich: ostatnia z nich, sfera gwiazd stałych nie ma miejsca, bo nie otacza jej żadna materia (na zewnątrz nic nie ma). Ruch postępowy ostatniej sfery niebieskiej jako "zmiana miejsca" jest stwierdzeniem bezsensownym, bo nie ma żadnego miejsca (nie ma materii na zewnątrz świata). Arystoteles postuluje, że ruch obrotowy jest możliwy, uznając za miejsce ostatniej sfery niebieskiej Ziemię w jej środku.

2.3.6 Konieczność, błędy natury i czas.

Arystoteles mówi o idealnych niebiosach nie tylko z tego powodu, że musi naprawić ad-hoc teorię ruchu naturalnego dla ciał niebieskich. Niebiosa odgrywają zasadniczą rolę w jego rozważaniach kosmologicznych, gdzie konsekwentnie usiłuje on znaleźć przyczyny wszelkich przemian, stosując postawione wyżej teorie. To prowadzi go do wniosku o zależności przemian na świecie od ruchu niebios. I. Bodnar pisze o tym następująco⁷³:

Arystoteles twierdzi na początku książki 8 "Fizyki", że ruch i przemiana we wszechświecie nie ma początku, bo wystąpienie przemiany zakłada wcześniejszy proces przemiany. Tym argumentem Arystoteles może ustalić wieczny łańcuch ruchów i obalić tych, co twierdzą, że był kiedyś stacjonarny stan Wszechświata.

Wszechświat u Arystotelesa jest wieczny, co rodzi następujący problem. Gdyby przemiany w świecie zaczęły się w jakimś punkcie czasu X i wywołały łańcuch przemian trwających przez czas skończony Y , to po tym czasie nie będzie już żadnych przemian. Przemiana wówczas będzie przygodna: dowolnie długo może nie być żadnych przemian, mimo, że przemiany są możliwe. To zaś (wskazuje Bodnar)

⁷³(Bodnar, "Aristotle's Natural Philosophy"), sekcja. 4

przeciwy jego tezie o konieczności, z księgi XI "Metafizyki". Można go streścić tak⁷⁴:

Pogląd 2.3.7 (*Arystoteles*) *Jeśli jest prawdą, powiedzieć, że jakaś rzecz, która jest możliwa, się nie stanie, to znaczy, że cokolwiek może być możliwe, a nic niemożliwe.*

Nie jest to prosta sprzeczność (A) i (nie A). Ktoś mógłby wymyślić prosty kontrprzykład. Ziarnko na pustyni może wykiełkować (gdyby je podlewać), ale nie wykiełkuje, bo wody nie będzie. To w języku Arystotelesa byłoby możliwe per se (bo ziarno może wykiełkować pod wpływem wody, istnieje więc możliwość), ale niemożliwe akcydenalnie (bo akurat tutaj, dla tego ziarna wody nie ma). Arystoteles uwzględnia takie przypadki: w Księdze II "Fizyki" wskazuje⁷⁵, że trafiają się samorzutnie zdarzenia przeciwne naturze.

Pogląd 2.3.8 (*Arystoteles*) *Zdarzają się samorzutne zdarzenia przeciwne naturze.*

W Poglądzie 2.3.7 chodzi o coś innego: czy przemiana może być przygodna, czyli czy możliwość może być niemożliwa do zrealizowania prawie nigdy (np. przemiany były możliwe przez skończony czas w wiecznym wszechświecie, to znaczy prawie nigdy nie były możliwe). Kluczem do zrozumienia jest wnioskowanie z podanych zasad: natura działa w sposób celowy; zarazem musi działać przez przyczyny sprawcze. Regularność znamy z doświadczenia i wynika ona z celowości; zarazem tylko gdy istnieje regularność możemy poznać przyczyny sprawcze. Łańcuch przyczyn sprawczych musi być podporządkowany celowości, inaczej nie byłoby regularności, a regularność jest. Arystoteles będzie więc odrzucał istnienie możliwości, których nie da się zrealizować⁷⁶.

⁷⁴(Arystoteles, *Aristotle in 23 Volumes, translated by H. Tredennick*) 1047b
—prypis tłumacza

⁷⁵(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 197b

⁷⁶(Bodnar, "Aristotle's Natural Philosophy"), sekcja. 4

Więc Arystoteles postuluje, że procesy we wszechświecie zależą od wiecznego ruchu (albo też kilku wiecznych ruchów), wiecznych obrotów sfer niebieskich, które z kolei zależą od jednego, lub kilku nieruchomych poruszycieli.

To znaczy, wieczny wszechświat musi mieć ciągle działające przyczyny przemiany, które zależą od ożywionych bytów poruszających sferami ciał niebieskich⁷⁷. Doktryna ta dobrze pasuje do organicznej wizji świata pogańskich Greków. Zarazem jest logicznym wnioskiem najważniejszych tez Arystotelesa i dążenia ku spójności systemu. Ma też pewne poparcie empiryczne: Słońce i Księżyc mają zasadniczy wpływ na zjawiska na Ziemi.

Z powyższej dyskusji wynika wniosek, który oburzy niektórych scholastyków: gdyby niebiosy się zatrzymały, to wszystkie przemiany na Ziemi również by się zatrzymały. Innym jego źródłem jest podana przez Filozofa⁷⁸ teoria czasu, naturalnie powiązana z powyższą dyskusją. Shields⁷⁹ wskazuje, że Arystoteles, chcąc traktować czas, jako coś istniejącego, wrzuca go do kategorii ilości: podobnie jak długość istnieje w linii, tak czas istnieje w przemianie: stąd definicja "czas jest ilością ruchu, ze względu na wcześniej i później"⁸⁰. Wynika natychmiast, że jeśli nie ma przemiany to nie ma również czasu, tak jak nie ma długości, gdy nie ma linii. Dalej twierdzi, że⁸¹ czas jest prawdopodobnie ruchem sfer niebieskich, ze względu na to, że musi istnieć jeden czas, i że ten ruch właśnie nadaje się na miarę czasu najlepiej (miara czasu ruchu to to samo co czas, per analogiam do długości linii).

⁷⁷Arystoteles, *Metaphysics*, translated by W. D. Ross, 1073b-1074a, Arystoteles postuluje około 50 takich poruszycieli jako przyczyny ruchów planet.

⁷⁸W średniowiecznych komentarzach Arystotelesa na ogół nazywano "Filozofem", a Awerroesa "Komentatorem".

⁷⁹(Shields, "Aristotle"), 6.

⁸⁰(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 220a, Księga IV

⁸¹(tamże), 223b

2.4 Arystoteles oczami fizyka.

Carlo Rovelli, słynny fizyk teoretyk, dziwił się ostatnio nad tym, że zdaniem obecnych ekspertów fizyka Arystotelesa "nie jest nauką, albo też jest porażką, w takim zakresie w jakim jest nauką"⁸², Jeden z tychże ekspertów⁸³ uważa, że co prawda "tradycyjnie" badacze uważali naukę Arystotelesa za empiryczną, ale obecne pokolenie całkowicie zaprzeczyło tej tezie. Fizyka Arystotelesa jest "standardowo" uważana za "paradygmat" metody dialektycznej, rozumianej jako technika "a priori", przeciwnie do nauki empirycznej. To właśnie jest pogląd zwolenników Kuhna, z czym jednak nie zgadza się Rovelli⁸⁴:

Udowadniam, że fizyka arystotelesowa jest poprawnym, nieintuicyjnym przybliżeniem fizyki Newtona w odpowiedniej domenie (...). Fizyka arystotelesowa wytrzymała długo nie dlatego, że stała się dogmatem, ale była bardzo dobrą teorią opartą na doświadczeniu.

a w innym miejscu⁸⁵

Jest poprawna w takim sensie, w jakim teoria Newtona jest poprawna: jest poprawna w zakresie swojej poprawności, jest głęboko innowacyjna, ogromnie wpływała i zbudowała struktury myślenia, na których nadal budujemy my.

I my możemy się pod tą tezę podpisać. Fizyka Arystotelesa twierdzi na przykład, że cięższe ciała spadają szybciej niż ciała lżejsze. Wszyscy myślimy że to nieprawda, no nie? No nie⁸⁶:

Czemu nie spróbujesz: weź monetę i kawałek papieru i je rzuć. Czy spadają z tą samą prędkością?

⁸²(Rovelli, "Aristotle's Physics: A Physicist's Look"), s. 1

⁸³(tamże), s. 1

⁸⁴(tamże), abstrakt.

⁸⁵(tamże), s.10

⁸⁶(tamże), s.10

Papier spada wolniej, niż moneta, to oczywiste. Fizyka Newtona może to samo powiedzieć, rozważając obok siły ciężkości, siłę oporu powietrza. Oczywiście, Arystoteles nie miał na myśli spadku ciał "gdy zabierzemy powietrze" (pisze Rovelli) — miał na myśli ruch rzeczywistych ciał w rzeczywistym świecie, w którym istnieje woda i powietrze. Istotnie prawie wszystkie zjawiska ruchu, które mógł widzieć starożytny naukowiec podlegają znacznym oporom: furmanka z sianem jedzie, gdy ciągnie ją koń, statek płynie gdy popychają go wiosła (albo nurt rzeki), a blok marmuru porusza się pchany przez budowniczych. Występują opory ruchu i trzeba wykonać akcję by pokonać te opory — musi istnieć jakiś "zewnątrzny agent" który tą akcję wykonuje. To właśnie Arystoteles nazywa ruchem gwałtownym. Oprócz ruchu gwałtownego, istnieje ruch naturalny, o czym mówiliśmy już na (s. 29). Upuszczony kamień spada, dym unosi się ku górze, woda w strumieniu spływa z wyżej położonych terenów na niższe, a kamienie i błoto czasami spadają ze stromych gór. Czterem żywiołom: ognia, wody, powietrza i ziemi odpowiadają cztery rodzaje ruchu naturalnego.

Rovelli zauważa⁸⁷, że taka komplikacja jest konieczna by opisać wiele złożonych zjawisk. "Gdyby wszystkie ciała spadały", mówi Rovelli, to "wystarczyłaby jedna substancja"; ale "niektóre rzeczy, jak ogień, wznoszą się ku górze". To daje dwa różne rodzaje zachowań. Ale to jeszcze nie wszystko: kamienie toną w wodzie, ale drewno po niej pływa; drewno za to opada w powietrzu. To wymaga opisanie relacji między różnymi substancjami. Do tego ciała niebieskie, które poruszają się w sposób całkiem odmienny od ziemskiej materii też muszą być opisane.

Stagiryta dzieli więc ruchy następująco:

- ruch naturalny: przy braku przyczyn zewnętrznych ciało porusza się pionowo w kierunku swojego naturalnego miejsca⁸⁸.
- ruch gwałtowny: ciało porusza się pod wpływem zewnętrznej

⁸⁷(Rovelli, "Aristotle's Physics: A Physicist's Look"), s. 3

⁸⁸Pominałem tu sprawę ruchu niebios, do czego jeszcze wrócimy.

przyczyny sprawczej.

Rovelli zauważa, że zblizony podzial znajdujemy w zasadach dynamiki Newtona⁸⁹:

- Jeśli na ciało nie działa siła wypadkowa, ciało spoczywa, albo porusza się ruchem jednostajnym
- Jeśli na ciało działa siła wypadkowa, ciało porusza się ruchem jednostajnym przyspieszonym.

Druga zasada dynamiki opisuje ruch wymuszony, pierwsza ruch swobodny. Oczywiście ruch wymuszony Newtona jest przyspieszony, a wszelkie zjawiska grawitacyjne i hydrostatyczne, które Arystoteles uważa za ruch naturalny muszą być osobno opisane na gruncie odpowiednich teorii. Samo rozróżnienie jest wzięte od Arystotelesa.

Wnioskowania metafizyczne, które wspominaliśmy (s. 20) nie są tu omówione, ale to nic nie szkodzi. Rovelli stwierdza, że teoria była uzasadniona empirycznie i oparta na doświadczeniu, więc nieuzasadnione jest podważanie jej jako nienaukowej.

Co więcej, o ile Arystoteles nie był zainteresowany matematycznymi prawami natury, to wcale nie znaczy, że żadnych takich praw nie wynalazł. Przeciwnie, sformułował prędkość spadku ciała jako proporcjonalną do wagi ciała i odwrotnie proporcjonalną do gęstości, co Rovelli przepisuje następująco:

$$|\vec{v}| = c \frac{W}{\rho} \quad (1)$$

gdzie \vec{v} —prędkość spadku, W —waga (równoważna sile ciężkości), ρ -gęstość ośrodka, c —stała.

Dziś również wiemy, że prędkość ciała w ruchu z oporami zależy od własności ośrodka (lepkości, gęstości), masy ciała i innych własności (np. kształtu). Na ogół dla ruchu w powietrzu (albo też innym

⁸⁹(Rovelli, "Aristotle's Physics: A Physicist's Look"), s. 3

niezbyt lepkiem ośrodku) wartość siły oporu zależy od prędkości w kwadracie i gęstości ośrodka:

$$\vec{F}_o = c_1 \rho |\vec{v}|^2, \quad (2)$$

gdzie c_1 jest stałą. Spadające ciało będzie więc przyspieszać, aż osiągnie prędkość maksymalną, w której siła oporu równoważy siłę ciężkości.

$$c_1 \rho v_{max}^2 = W, \quad (3)$$

w efekcie dostajemy równanie na prędkość maksymalną spadającego ciała.

$$v_{max} = \sqrt{\frac{W}{c_1 \rho}}. \quad (4)$$

To jest, zaznaczmy, prędkość maksymalna — dość mało użyteczna dla modelowania spadku z niewielkiej wysokości w powietrzu. W rzeczywistości prędkość będzie silnie zależna od czasu⁹⁰, jako, że spadające ciało przyspiesza co najwyżej z przyspieszeniem $g = 10 \text{ m/s}^2$:

$$v(t) = \sqrt{\frac{W}{c_1 \rho}} \tanh\left(\frac{1}{m} \sqrt{W c_1 \rho} t\right). \quad (5)$$

Żelazny przedmiot spadające z małej wysokości nigdy nie osiągnie prędkości maksymalnej, tylko będzie poruszał się ruchem niemalże jednostajnie przyspieszonym. Jeśli wyraz w nawiasie w (5) jest mały (np. gdy gęstość ρ jest duża) to możemy przybliżyć tangens hiperboliczny pierwszym wyrazem szeregu Taylora:

$$v(t) \approx \sqrt{\frac{W}{c_1 \rho}} \frac{1}{m} \sqrt{W c_1 \rho} t = \frac{W}{m} t = gt$$

,

⁹⁰(Rovelli, “Aristotle’s Physics: A Physicist’s Look”), równanie 10

Arystoteles tego nie odkrył, ale jego prawo (1) jest bardzo blisko rzeczywistej formuły na prędkość maksymalną. To, i inne jego doktryny jest sukcesem, a nie naukową porażką. Rovelli podsumowuje⁹¹:

Trudno twierdzić, że to nie jest oparte na dobrych obserwacjach. Jeśli czytelnik uważa, że to wszystko jest "intuicyjne" i "oczywiste" powinien zapytać siebie, czy dałby radę sam dzisiaj napisać taki trafny i dokładny opis ruchu spadających obiektów.

Odpowiedź na ogół brzmi "nie". Niewiele osób nawet studiuje szczegółowo aerodynamiki i hydrodynamiki; opis tego zagadnienia jest złożony. Standardowy aparat teoretyczny stworzono dopiero w XIX w. (liczby Reynoldsa, równanie Naviera-Stokesa), a i tak nie jest on dokładny we wszystkich przypadkach.

2.5 Problemy fizyki Arystotelesa.

Dodajmy do powyższej dyskusji, co Stagirytę ewidentnie różni od nowożytnego fizyka. Prawo (1) każe mu sądzić, że próżnia nie istnieje. Przejście w granicy $\rho = 0$ w mianowniku daje rozbieżną wartość v — to daje wniosek, że ciała w próżni spadają z nieskończoną prędkością, więc próżnia jest zdaniem Arystotelesa niemożliwa. Można pochwalić, że przeanalizował swoje prawo pod tym kątem⁹², choć osąd jest zbyt daleko idący. Miały też znaczenie inne argumenty, które podaje w rozdziale IV "Fizyki". Odczytując to na gruncie teleologii, Arystoteles stwierdza, że "natura nie znosi próżni", co popiera jedną z jego hipotez na wyjaśnienie przyczyny ruchu: że np. strzała wypuszczona z łuku jest popychana przez pęd powietrza.

Inny problem, na który warto zwrócić uwagę, to brak współczesnego rozróżnienia między prędkością średnią, a chwilową: to może być powód dla którego Arystoteles nie wpadł na to, że ciężkie i gęste ciała spadają coraz szybciej i szybciej. Arystoteles nie uznawał

⁹¹(Rovelli, "Aristotle's Physics: A Physicist's Look"), s. 5

⁹²Jest pod tym względem bardziej dalekowzroczny, niż początkowo Galileusz, który zaproponował prawo postaci $v \approx cW - \rho$ (tamże), s. 3

bowiem prędkości za formę (Sekcja 3.2) i nie uznawał też ruchu w punkcie czasu za spójne pojęcie. W efekcie ewidentny efekt przyspieszenia ciężkiej żelaznej kuli nie wzbudziłby jego zainteresowania, bo nie uznalby przyspieszenia za spójny koncept, nawet gdyby na coś takiego wpadł.

Można wskazać więcej niedostatków Arystotelesowej fizyki, skupionych wokół organicznego obrazu świata, traktowania fizyki jako podobnej do innych nauk przyrodniczych i teorii porządku celowego. Dziś zapomniane dzieło Arystotelesa o meteorologii i geofizyce pełne jest błędnych organicznych analogii. Miał on nawet trafną wizję⁹³, że Słońce wywołuje cyrkulację mas powietrza, i parowanie wody. Para na wyższych wysokościach chłodzi się i kondensuje, co tworzy deszcz. Jednak nie rozwija tej wizji, jego uwagę pochłaniają “natury”, “suche i wilgotne wyziewy, produkowane przez Ziemię, opisaną jako wielkie zwierzę, które rośnie, trawi i puszcza gazy”, podobnie jak robią to konie i krowy. Spadające gwiazdy to efekt takich suchych wyziewów, podobnie błyskawice, komety itd. Do natur zalicza się też ciepło i zimno⁹⁴. Jako “przeciwieństwa” i zgodnie “z ogólnym wyjaśnieniem zachowania przeciwieństw” przyspieszają one wzajemne reakcje, gdy występują razem. Arystoteles myślał więc, że woda prędzej się ochłodzi, jeśli uprzednio się ją ogrzeje⁹⁵.

Reasumując: Arystoteles nie wiedział tego, co odkryto dopiero po nim, podobnie jak wszyscy innowatorzy w historii świata. Wszystko to jednak nie może umniejszyć wielkich zasług Arystotelesa dla fizyki i innych dziedzin nauki. Zasługi te staną się bardziej jasne, gdy pokażemy, jak system Arystotelesa ulegnie przeobrażeniu niemal 1500 lat później. Do tego celu trzeba będzie zmienić metodę porządku celowego i organicznego obrazu świata na inną.

Nie dostaniemy tego u reszty Starożytnych Greków i Rzymian, bo Ci podążali podobnymi drogami, co Platon i Arystoteles, widząc świat jako organizm. Nawet Ptolemeusz, współautor dokładnych ma-

⁹³(Jaki, *The Relevance of Physics*), s. 23

⁹⁴Właściwie formę ciepła rozumiano w średniowieczu, s. 51

⁹⁵(Jaki, *The Relevance of Physics*), s. 25

tematycznych równań ruchów planet podkreśla, że⁹⁶ mechaniczne analogie dają tylko pozorny wgląd w ruch ciał niebieskich i w rzeczywistości poruszają się one przy użyciu zasad witalnych. Organiczną fizykę zaadoptowali stoicy: jej główną tezę dobrze ilustruje ten cytat podany przez Cycerona, a przypisywany Zenonowi z Elei⁹⁷.

Nic co jest bez duszy i rozumu nie może wytworzyć czegoś obdarzonego życiem i rozumem; świat jednak tworzy byty z dusza i rozumem; więc świat jest istotą żyjącą i posiada umysł.

Po I w. filozofia starożytna skręca w stronę irracjonalnego i mistycznego neoplatonizmu, raczej nieurodzajnego w badaniu przyrody. Wybitni filozofowie przyrody tego okresu: Aleksander, Temistos, Damazjusz i Simplicjusz zajmują się głównie komentowaniem i rozwojem doktryny Arystotelesa.

2.6 Wszystko według miary liczby i wagi.

Opisaliśmy wyżej najważniejsze założenia fizyki Arystotelesa, wskazując z jednej strony wybitne osiągnięcia, a z drugiej porażki —jedne i drugie wynikające z niedoskonałego pojęcia porządku świata i prób stworzenia logicznego systemu obrazów.

O nauce innych starożytnych cywilizacji nie można z pewnością powiedzieć niczego lepszego. Inkowie⁹⁸, Babilończycy⁹⁹, Chińczycy¹⁰⁰ i Hindusi¹⁰¹ adoptują organiczny lub panteistyczny obraz świata i na ich podstawie wyjaśniają naturę. Na ogół jest ta nauka na niższym poziomie, niż u przedsokratejskich Greków; trafne obserwacje przenikają z mitem. Analizę porównawczą można znaleźć w "Science and Creation" Stanleya Jakiego¹⁰².

⁹⁶(Jaki, *The Relevance of Physics*), s. 35

⁹⁷(tamże), s. 35

⁹⁸(Jaki, *Science and Creation*), s. 55

⁹⁹(Jaki, *Zbawca Nauki*), 37

¹⁰⁰(tamże), s. 35

¹⁰¹(Jaki, *Science and Creation*), s.16

¹⁰²(tamże)

Wyjątkowym przypadkiem nieco innej myśli jest Biblia. W księgach Starego Testamentu pojawiły się takie teksty¹⁰³:

Na rozkaz Pana, na początku, stały się Jego dzieła i gdy tylko je stworzył, dokładnie określił ich zadanie. Uporządkował je na zawsze, od początku aż w daleką przyszłość. Nie odczuwają głodu ani zmęczenia i nigdy nie porzucają swego zadania, żadne nie zderzy się z drugim i Jego słowom nigdy nie odmówią posłuchu. (Syr 16)

A i bez tego paść mogli od jednego podmuchu, postać ścigani i zmiecieni tchnieniem Twej mocy, aleś Ty wszystko urządził według miary i liczby, i wagi! (Mdr 11, 20)

Gdy niebo umacniał, z Nim byłam, gdy kreślił sklepienie nad bezmiarem wód, gdy w górze utwierdzał obłoki, gdy źródła wielkiej otchłani umacniał, gdy morzu stawiał granice, by wody z brzegów nie wyszły, gdy kreślił fundamenty pod ziemię. (Prz 8)

Trochę podobnych wzmianek można znaleźć w Księgach Psalmów, Hioba, Koheleta i innych. Wersy powyższe sugerują świat o (Syr 16) stałym, (Mdr 11) matematycznym i (Prz 8) racjonalnym porządku. Cytat z (Prz 8) jest wypowiedziany przez Mądrość Bożą. Świat, jako arcydzieło Mądrości Bożej jest uporządkowany i zrozumiały. Bóg “kreśli” sklepienia i fundamenty, jak architekt.

Powyższe fragmenty Pisma Świętego nie mówią wprost “istnieją takie, a takie prawa natury”. Gdyby ktoś czytał te księgi po kolei, to może różnie je interpretować. Zastosowanie filozofii Arystotelesa i podobnych tendencji logicznych pozwoliło jednak odczytać wiele takich powiązanych znaczeniowo fragmentów i opracować na ich podstawie obraz świata.

¹⁰³(Jaki, *Zbawca Nauki*), s. 60-62

2.7 Dynamika Jana Filopona.

Do X w. (arabskiego renesansu) rozwojem filozofii naturalnej Arystotelesa zajmowała się niewielka liczba filozofów pogańskich. Jedni popierali teorię Arystotelesa przeciw innym nurtom filozofii pogańskiej, inni łączyli je z dominującym neoplatonizmem.

Pośród tych wczesnych komentatorów Arystotelesa znalazł się nestoriański chrześcijanin Jan Filopon (VI w.). S. Jaki wymienia następujące tezy Filopona¹⁰⁴:

...wszystkie ciała poruszają się w próżni tak samo szybko, niezależnie od wagi; ciała o bardzo różnej masie spadają na Ziemię praktycznie w tym samym czasie; pociski poruszają się w powietrzu nie dlatego, że powietrze się za nimi zamyka, ale dlatego, że obdarzono je pewną "ilością ruchu".

Wszystko to stoi w sprzeczności z fizyką Arystotelesa i, zarazem, jest poprawnym opisem jakościowym. Filopon nie zdobył początkowo zwolenników, jednak po czasie jego uwagi okazały się słuszne. Rozważmy poniższy jego argument:

Czyż słońce, księżyc, gwiazdy nie mogłyby przez Boga, ich Stwórcę, być obdarzone pewną siłą kinetyczną, w ten sam sposób jak ciężkie i lekkie przedmioty są obdarzane tendencją ruchu?"

W powyższym przykładzie Filopon usiłuje połączyć mechanikę na Ziemi i na niebie w jedno, do czego wymyśla coś w rodzaju energii kinetycznej. Powyższa myśl jest zakorzeniona w teologii. Po pierwsze, jeśli istnieje transcendentálny Stwórca, porządek celowy może być wyjaśniony bez organicznego świata. Świat mógł być puszczony w ruch, jak mechanizm stworzony przez człowieka. Po drugie Filopon jest o krok od wypowiedzenia wniosku: mogę pomyśleć X, więc Bóg mógłby stworzyć X, więc X jest możliwe. Odniesienie do Boga nie jest tylko figurą retoryczną.

¹⁰⁴(Jaki, *Science and Creation*), s. 186

2.8 Scholastycyzm

Pod wpływem Arystotelesa, Św. Boecjusza (zm. 524-526), Eriugeny (zm. 877), Św. Anzelma (zm. 1109) i Abelarda w teologii i filozofii łacinników pojawiła się metoda scholastyczna. Do analizy tekstów Objawienia użyto analiz logicznych i semantycznych. Porządkowano fragmenty tekstów tematycznie i szukano wspólnego klucza znaczeniowego. Dbano o organizację wiedzy i precyzję w formułowaniu myśli. Wśród form literackich powstają wielkie leksykony i syntezy (Summae), dyskusje (Quaestiones) i rozbudowane komentarze.

Tym też sposobem zaczęto się na nowo zastanawiać także nad naturą świata. Uczni wczesnego i środkowego scholastycyzmu, (do Św. Tomasza włącznie) jako filozofowie na ogół będą typowymi platonistami i arystotelikami. Jako teologowie zrobią nauce podobną przysługę, jaką Platon zrobił Arystotelesowi, tworząc metafizyczne podstawy metody.

Skąd pomysł, żeby mówić o “prawach” natury per analogiam do kodeksu prawnego? Zarówno prawa naturalne jak i moralne mają to samo źródło, zdaniem dawnych teologów. Św Anzelm¹⁰⁵ porównuje prawość Boskiego porządku moralnego, do właściwego uporządkowania świata stworzonego (w czym rozwija myśl Św. Augustyna). Stwórca u Anzelma jest prawodawcą świata fizycznego i prawodawcą świata moralnego. Zarówno sprawiedliwość, jak i prawda są więc podgatunkiem *prawości*. Jedno odnosi się do woli, drugie do postrzegania. Pomysł ten ma ważnych poprzedników. Wskazaliśmy bowiem, że fizyka Arystotelesa zaczęła się od filozofów którzy zastanawiali się dlaczego “lepiej” planetom poruszać się tak jak się poruszają.

Warto dalej wspomnieć Roberta Grosseteste (zm. 1253), biskupa Lincoln i kanclerza Uniwersytetu w Oksfordzie¹⁰⁶. Według Grosseteste głównym substratem świata jest światło, a światło w oczywisty sposób wykazuje powiązania z geometrią: rozchodzi się po liniach prostych, ulega odbiciu i refrakcji, ma coś wspólnego z ciepłem itd. W “De lineis” Grosseteste pisze:

¹⁰⁵(Gwozdź, “St Anselm’s Theory of Freedom.”)

¹⁰⁶(Jaki, *Science and Creation*), s. 222

Przydatność rozważania linii, kątów i figur jest największa, bo nie sposób zrozumieć filozofii naturalnej bez nich. Są skuteczne w całym wszechświecie i w jego częściach i w powiązanych własnościach jak ruch prostoliniowy i po okręgu.

Na odkrycie praw natury Grosseteste proponował testowanie hipotez przez eksperymenty. On sam poczynił postęp w rozumieniu zjawiska tęczy (wcześniej błędnie rozumianego jako efekt odbicia). Grosseteste opracował też filozofię pomiaru¹⁰⁷. Wskazuje w niej, że ludzkie pomiary nigdy nie oddadzą idealnie mierzonej wielkości, zna ją Bóg, który ustala wszystko “według miary, liczby i wagi”.

Pionierem empiryzmu jest kolejny Anglik, Roger Bacon (zm. 1292). Zajmował się on szeroko optyką — eksperymentami optycznymi i zastosowaniem geometrii w optyce, kontynuując dorobek Ptolemeusza, Alhazena i Grosseteste¹⁰⁸. Udało mu się m.i. obliczyć maksymalną elewację tęczy¹⁰⁹, wynaleźć proch strzelniczy i zbudować parę prostych przyrządów optycznych. Bacon pisał też o “powszechnych prawach natury”¹¹⁰ (do których zaliczał prawa odbicia i załamania światła); o tym, że eksperymenty powinny potwierdzać albo obalać tezy teoretyczne; o różnych urządzeniach technicznych, które da się zbudować w przyszłości (np. teleskopach, samochodach).

Św. Tomasz z Akwinu opisał różnice między obrazem świata katolicyzmu, a wierzeniami pogan¹¹¹. Świat zdaniem Tomasza jest odbiciem Bożej Mądrości, musi być więc zrozumiały i finezyjnie uporządkowany:

...przez rozmyślanie nad dziełami Boga możemy w pewien sposób podziwiać i rozważać Mądrość Bożą. Te rzeczy bowiem, które powstają dzięki idei twórczej, przed-

¹⁰⁷(Jaki, *Science and Creation*), s. 223, przytoczono tam streszczenie Williama z Alnwick

¹⁰⁸(Hackett, “Roger Bacon”), 5.5

¹⁰⁹(tamże), 5.4.3

¹¹⁰(tamże)

¹¹¹(Św. Tomasz z Akwinu, *Summa Contra Gentiles*), księga 2., rozdział 2.

stawiają ją samą, ponieważ są utworzone na jej podobieństwo. Bóg zaś mądrością swoją powołał rzeczy do istnienia, dlatego też w Psalmie [104,24] jest powiedziane: „Tyś wszystko mądrze uczynił”.

Dalej Tomasz wskazuje, że bez Boga filozofowie muszą szukać pierwszej przyczyny w świecie naturalnym, co jest niespójne.

Po pierwsze w ten sposób, że ludzie nieznający natury stworzeń i przyjmujący, że nie istnieje nic poza stworzeniami widzialnymi, uważają przewrotnie za pierwszą przyczynę i za Boga coś, co może istnieć tylko dzięki czemuś drugiemu. Tacy na przykład byli ci, którzy uważali za Boga jakieś ciało; powiedziane jest o nich w Księdze Mądrości 13, [2]: „lecz ogień, wiatr, powietrze chyże, obrót gwiazd, wodę burzliwą, słońce lub księżyc mieli za bogów”.

Wskazuje też antagonizm między dogmatem o wszechmocy Boga, a argumentami o konieczności:

...którzy twierdzą, że rzeczy pochodzą nie z woli Bożej, ale z konieczności natury, a także u tych, którzy czy to wszystkie rzeczy, czy tylko niektóre usuwają spod Opatrzności Bożej lub przeczą temu, że działanie Opatrzności może wykraczać poza zwykły bieg rzeczy. To wszystko uwłacza mocy Bożej. Przeciw tym ludziom powiedziane jest w Księdze Hioba 22, [17]: „Oceniali Wszechmogącego jakoby nie mógł nic uczynić”. A także w Księdze Mądrości 12, [17]: „Moc Twoją przejawiasz, gdy się nie wierzy w pełnię Twej potęgi”.

Ten antagonizm nabrał wielkiego jeszcze za życia Akwinaty. Punkt kulminacyjny przypadnie krótko po jego śmierci, w roku 1277.

3 Fizyka od XIII w.

3.1 Rewolucja naukowa 1277 roku.

Od XII w. na zachód Europy napływają nieznane dotąd pisma Arystotelesa, w szczególności o fizyce, metafizyce i kosmologii, a także spuścizna nauki muzułmańskiej, bardziej wtedy zaawansowanej, niż europejska. Filozofia Arystotelesa zawiera parę tez sprzecznych z chrześcijańskim dogmatem: np wszechświat jest wieczny, dusze ludzi nie są nieśmiertelne, Opatrzność Boża nie istnieje¹¹². Część filozofów zachodnich przyjęło poglądy Arystotelesa i Awerroesa, podczas gdy inni usiłowali dopasować filozofię do wiary. Największe uznanie zdobył Św. Tomasz z Akwinu¹¹³. Skrytykował sprzeczne z wiarą tezy Arystotelesa, a resztę jego (i Awerroesa) filozofii zaadaptował na potrzeby teologii. To jeszcze nie zrobiło wyłomu w fizyce Arystotelesa i Awerroistów, ani szkody jej coraz szerszym pretensjom do rzeczywistości. Awerroes wszak odrzucił nawet najważniejszą teorię, która mogłaby uchodzić za fizykę matematyczną: system astronomiczny Ptolemeusza¹¹⁴. Jego zdaniem używane przez Ptolemeusza epicykle były “absolutnie niemożliwe”, gdyż ruch kołowy może zachodzić tylko wokół materialnego środka. Sprzeczne z filozofią arystotelików cechy systemu Ptolemeusza próbowali usunąć¹¹⁵ Alhazen i Bernard z Verdun; ale z tą jedną nie potrafili sobie poradzić.

Ten spór dodał pewności franciszkańskim teologom w tym, co zaraz opiszemy; system Ptolemeusza panował bowiem¹¹⁶ “niepodzielnie” wśród uczonych Uniwersytetu Paryskiego. W “ziarnie” dokładnych predykcji ruchów planet, położonym przeciwko “słomie” wyjaśnień awerroistów zobaczyli bowiem o wiele więcej, niż sam Ptole-

¹¹²(McInerney, *A First Glance at St. Thomas Aquinas: A Handbook for Peeping Thomists*), 5

¹¹³(tamże), 5

¹¹⁴(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 142

¹¹⁵(tamże), s. 180

¹¹⁶(tamże), s. 180

meusz.

Wspomnijmy już zacytowaną dedukcję:

- (Przesłanka) Mogę pomyśleć X bez sprzeczności.
- (Przesłanka) Bóg jest wszechmocny (w oparciu o dogmat o Wszechmocy Bożej) i może stworzyć X.
- (Wniosek) X nie jest więc niemożliwe.

W efekcie: mogę pomyśleć X, więc X jest możliwe, a jak ktoś chce twierdzić inaczej, to przeczy dogmatowi wiary. To rozumowanie było główną przyczyną potępień wydanych na Uniwersytecie Paryskim w 1277 przez biskupa Tempiera. Franciszkańscy teologowie nie tylko odrzucili tezy jawnie sprzeczne z wiarą, ale zażądali uznania logicznych wniosków Objawienia ponad wnioskami Arystotelesa. W efekcie potępiono szereg poglądów Filozofa i zakazano ich uczyć pod groźbą kar kościelnych. Oto niektóre z potępionych tez, związane z powyższą dedukcją¹¹⁷:

1. Pierwsza Przyczyna nie może stworzyć wielu światów.
2. Gdyby niebiosa się zatrzymały, to ogień nie paliłby lnu, bo Bóg by nie istniał.
3. Bóg nie może poruszyć wszechświata po linii prostej, bo zostałby próżnię.

W (1) potępiony jest pogląd arystotelików, że istnienie wielu światów jest sprzecznością. W (2) chodzi o pogląd, że upływ czasu by się zatrzymał, gdyby zatrzymały się ruchy ciał niebieskich (zob. Sekcja 3.3). (3) zachodzi zdaniem arystotelików, bo ich zdaniem próżnia jest niemożliwa. W efekcie za jednym zamachem odrzucono kluczowe tezy fizyki Arystotelesa i wytworzono narzędzie metodologiczne, które uczyniło fizykę dziedziną nieustannych poszukiwań

¹¹⁷(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 450, s. 392, s.181

nowych obrazów. Parę innych odrzuconych poglądów¹¹⁸ tyczy się organicznego obrazu świata, astrologii i Wiecznych Powrotów¹¹⁹:

- (73, 31, 32) Ciała niebieskie są istotami żyjącymi, a niebieska materia jest wieczna i ożywiona.
- (92) Wszystkie te same zdarzenia powtarzają się co 36 tys. lat.
- (75) Sfery niebieskie są organami podobnymi do oczu i uszu.
- (105) Gwiazdy mają deterministyczny wpływ na człowieka od czasu narodzin.

Równoległe więc traci na znaczeniu wizja organicznego wszechświata, robiąc miejsce dla chrześcijańskiej wizji porządku świata. Duhem nazwał te potępienia z 1277 certyfikatem urodzenia nauki. Jest to istotnie certyfikat urodzenia *fizyki według filozofii Duhema*.

3.2 Scholastyczna teoria wielkości fizycznej.

Bardzo dawno temu zbudowano wagę szalkową. Egipska Księga Umarłych mówi, że w zaświatach serce człowieka jest ważone na wadze, by sprawdzić, czy jest lżejsze od pióra. Na ogół oszlifowane kamienie w różnych masach (będących wielokrotnościami siebie nawzajem) służyły za odważniki, co pozwalało określić masy niewielkich ciał. Nieliczni znali nawet prawo proporcjonalności między położeniem punktu równowagi, a rozmiarami zawieszonych mas (prawo dźwigni Archimedesesa). To jednak nie zostało połączone z teorią ruchu, bezwładności czy grawitacji. W większości kultur takich tendencji w ogóle nie było, a jeśli istniały, to nie były zainteresowane rozważaniami ilościowymi.

¹¹⁸(Jaki, *Science and Creation*), s. 229 —parafrazy dekretu Tempiera.

¹¹⁹Pogański pogląd, że wszystkie wydarzenia powtarzają się, gdy gwiazdy porwą do tej samej konfiguracji, co kilkadziesiąt tysięcy lat.

Arystoteles, uważał ilość i jakość za dwie osobne kategorie¹²⁰. Przez jakość rozumiem tutaj np. ciepło, białość i masę¹²¹, a przez wielkość np. długość, pole powierzchni lub objętość (a także czas, jako ilość ruchu). Filozof wskazał na pewną istotną różnicę. Ilość, albo też "wielkość", zakłada relację złożenia lub zawierania. Długi sznur składa się z mniejszych kawałków sznura, worek piasku zawiera w sobie wiele ziarenek piasku, a liczbę naturalną 5 można wyrazić jako $1 + 1 + 1 + 1 + 1$. Jedne wielkości są dyskretnie (używa się w takiej sytuacji słowa "liczba"): garść monet zawiera 30 monet. Inne wielkości są ciągłe: 1 galon wody to 4 kwarty.

Wielkości Filozofa mogą być różne i zarazem mieć "taką samą naturę". Galon wody tworzymy dodając do siebie kwarty wody. Galon i kwarta wody zawiera wyłącznie wodę. Większą wielkość jak np. 10 galonów tworzymy dodając coraz więcej wody. Sznur o długości 10 stóp stworzymy tnąc sznur o długości 20 stóp w połowie. Sznur krótki istnieje realnie w sznurze długim i zawsze istniał. Podobnie też kwarta wody istnieje w galonie. Podobnie też korce zboża, łokcie płótna i tuziny jaj. Podobnie też można mierzyć pola powierzchni i odległości. Powyższa konstrukcja dobrze odpowiada więc praktycznym zastosowaniom miar, jak handel, kartografia czy zarządzanie magazynem.

Co zaś z jakościami takimi jak ciepło? Filozof mówi, że "ciało staje się bielsze albo cieplejsze, bez żadnego dodania białości ani ciepła; ale istniejąca zawczasu jakość staje się bardziej intensywna, bo jest bliżej do swojego celu"¹²². To znaczy jakość czy też intensywność formy (np. ciepło) staje się bardziej intensywna (ciało staje się bardziej gorące), gdy zbliża się do swojej idealnej formy (ekstremalnie gorąco). Scholastycy z XIII w. raczej są zwolennikami tej, lub podobnej doktryny: np. Św. Tomasz z Akwinu, albo Henryk z

¹²⁰(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 227

¹²¹Masa wydaje się być typową ilością, ale dopiero na gruncie teorii Newtona, zob. s. 52.

¹²²(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 228

Gandawy. Ten ostatni specjalnie podkreśla, że intensyfikacja jakości jest czymś innym, niż dodanie ilości:

Augmentacja formy nie jest dodaniem części w ich substancji lub esencji; jest to wzrost w natężeniu, przez który forma staje się bardziej skuteczna w działaniu; nie może być to dodawanie podobnego do podobnego; ciepło dodane do równego ciepła nie jest bardziej gorące.

Durand z St. Pourcain¹²³ podobnie zaznacza, że nawet stopnie jakości "nie przypominają podzielności wielkości na części". "Kolejne stopnie oznaczają coraz to większą perfekcję formy". Można więc mówić o odległości do ideału, ale ta *odległość* nie podlega prawom dodawania. Wyobraźmy sobie jakiś przedmiot: przy produkcji porcelany można wybrać najbardziej precyzyjnie wykonane egzemplarze jako kategorię A+ (można je sprzedać drożej). Inne, które spełniają podstawową normę jakości określimy jako kategoria A. Te obarczone pewnymi mniej istotnymi wadami zaliczymy do kategorii B. Dla tak zdefiniowanych kategorii różnica między B i A jest inna, niż różnica między A i A+ i nie sposób wyrazić jej na gruncie dodawania jakiejś jakości.

Powyzsza doktryna była dominująca w XIII w., choć pojawiły się też opinie przeciwne. Św. Tomasz przytacza opinię Filozofa przeciwko "jakimś filozofom". Następcy tych filozofów uaktywnili się po antyperypatetyckich potępieniach z 1277. Franciszkanie Richard Middleton i bł. Duns Szkot byli najbardziej istotnymi przedstawicielami tego nurtu. Myśl tą rozwinał "ulubiony uczeń" Szkota, John Bassols.

Przez stopień miłości albo innej dowolnej formy rozumie pewien podmiot tej formy; (...) Więc nadaję taki sam sens (...) słowom "stopień formy" i słowom "ograniczony podmiot tej formy"; jest tym samym porównać podmiot, który ma większy stopień tej formy do takiego,

¹²³(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 231

który ma mniejszy, co powiedzieć, że mamy do czynienia z bardziej lub mniej idealnym przykładem danej formy.

Czytelnik może sobie przypomnieć dany na początku przykład jak można zrozumieć pomiar temperatury termometrem (s. 8). Pierwszym krokiem jest to, że porównujemy ciała do siebie nawzajem pod względem stopnia ciepła, co tworzy pojęcie większego lub mniejszego ciepła; to właśnie jest również konstrukcja Bassolsa. Idzie on z resztą dużo dalej. Zilustruje to dobrze przykład, jaki daje Bassols¹²⁴.

Dwa ciepłe ciała są czymś więcej niż każde z nich; jest jasne z efektów, które produkują, ponieważ razem tworzą w trzecim ciele ciepło bardziej intensywne, niż każde z nich wygenerowałoby w izolacji; więc gdy dodamy ciepło jednego ciała, do ciepła drugiego, wytworzymy coś o większej intensywności, gdyż efekt tych dwóch ciepł jest bardziej intensywny, niż efekt każdego z nich w izolacji. To można zobaczyć, biorąc przykład wagi. Dwa kamienie, albo dwa ciężary razem ważą więcej, niż jeden z nich (...); ale jeśli dodasz ciężar albo grawitację jednego z tych ciał, jakby tworząc jeden ciężar i grawitację przez unię dwóch ciężarów albo grawitacji, rezultat będzie cięższy w natężeniu, niż każde z tych dwóch ciał w izolacji; i to jest naturalne, pomimo, że żadne z tych dwóch ciał nie jest bliższe perfekcji, niż drugie.

Zaskakująco nowoczesne są te spekulacje. By to lepiej przełożyć na współczesną intuicję, wyobraźmy sobie dwa bloki stali o temperaturze 50 stopni Celsjusza, i trzeci blok o temperaturze 0 stopni. Jeśli blok pierwszy i trzeci złączymy ze sobą i doprowadzimy do stanu równowagi, ich temperatura ustali się na 25 stopni. Jeśli złączymy blok pierwszy, drugi i trzeci, temperatura ustali się na 33,3 stopni (zakładam, że układ jest izolowany). To jest dokładnie eksperyment myślowy Bassolsa. Chociaż nie wiedział on o temperatu-

¹²⁴(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 240

rze i ciepłe właściwym, to napisał dość, by wywnioskować, że istnieje *ilość ciepła*, a nie *zbliżanie się do perfekcji formy ciepła*. Drugi przykład jest równie intrygujący. Fizyka Arystotelesa wyjaśnia efekt grawitacji przez naturalną tendencję ciał by dążyć do swojego naturalnego miejsca. Ciała stałe dążą jak najbliżej do środka Wszechświata, czego efektem jest nieruchoma i mniej-więcej okrągła Ziemia. W fizyce nowożytnej jedna "tendencja" jest raczej do tego, by ciało pozostawało w ruchu, albo w spoczynku, a druga tendencja jest do tego, że masy się przyciągają. Masa bezwładna i masa grawitacyjna określają wielkość obydwu tendencji, a równość jednej i drugiej jest prawem określonym doświadczalnie. Tendencja ta nie może być naturą, bo natura jest jedna. Arystotelicy nie mogli na to wpaść myśląc o "naturach", czego efektem jest np błędny wniosek, że próżnia nie może istnieć, bo wtedy ciała spadałyby nieskończenie szybko. Nowa filozofia po 1277 była dla takiego wnioskowania żrąca jak kwas i zarazem usiana oryginalnymi pomysłami. Jeśli możemy sobie wyobrazić próżnię, to najwyraźniej ona może istnieć. Jeśli możemy sobie wyobrazić lewitujące kamienie, albo ten sam kamień może stać się 3 razy cięższy to ten stan jest możliwy. Grawitacja może być więc pewną własnością, którą możemy zabrać, dodać, zwiększyć, zmniejszyć.

Powyższe idee rozprzestrzeniły się szeroko i zostały dopracowane w I połowie XIV w. Duhem podsumowuje¹²⁵:

W pierwszej połowie XIV w., zatem, najsłynniejsi ze skotystów i nominalistów zmówili się, by ukończyć pracę którą Richard z Middleton i John Duns Szkot zaczęli; porzucając perypatetycką doktrynę, wymazując tak (tak dobrze) utwierdzone rozróżnienie, które dzieliło kategorię wielkości i kategorię jakości, ustanowili bliską analogię między zwiększeniem ilości, a natężeniem formy jakościowej; wzrost natężenia, jak wzrost wielkości wynika z dodania części do innych części tego samego rodzaju.

¹²⁵(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 244

a dalej:

Ta teoria prowadzi natychmiast do ekstremalnie ważnego wniosku: Intensywność jakości jest odąd mierzalna, tak jak wielkość ilości; rozumowania i operacje arytmetyki mogą łączyć ze sobą różne intensywności form tego samego rodzaju, tak samo jak stosują się do wielkości ilości;

Scholastycy następnie "nie definiując tej doktryny *explicite*" pospiesznie zaczęli ją stosować. W 1344 Grzegorz z Rimini stosuje "formy dualne", mówiąc o *szybkości* "z jaką natężenie formy się tworzy" i odróżniając przypadki jednostajnej i niejednostajnej przemiany. Podobnie też Albert z Saksonii pisze o ruchu lokalnym, rozszerzaniu się i przemianie¹²⁶:

Jeśli, na przykład, różne substancje nabywają w ciągu godziny te same jakości, są przemienione z tą samą szybkością; jeśli otrzymują jakości nierówne, to nie są przemieniane z tą samą szybkością.

To wszystko będzie dalej zastosowane w rozwoju XIV-wiecznej mechaniki.

3.3 Czas i abstrakcja

W dynamice, elektrodynamice, mechanice kwantowej i wielu innych teoriach podstawowe równania zawierają pochodne wielkości po czasie. Wielkością tego typu jest szybkość, pochodna długości toru ruchu po czasie. Czas w fizyce jest pewnym dodatkowym wymiarem, zbliżonym do trzech wymiarów przestrzennym. Wybierając punkt w przestrzeni i punkt w czasie otrzymujemy zdarzenie. Łącząc wiele takich punktów otrzymujemy ciąg, który może być na przykład częścią

¹²⁶(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 246

toru ruchu. Do tego wszystkiego potrzebujemy czasu jako parametru czy też wymiaru. Dawniej jednak rozumienie czasu było inne, co stworzyło istotne przeszkody w rozwoju fizyki.

Wspominaliśmy, że Arystoteles usiłował znaleźć rzeczywiste i materialne przyczyny sprawcze zjawisk, mimo tego, że takie przyczyny sprawcze często nie istnieją, w takim sensie, jaki zakładał: to prowadzi go do wniosku, że wszelkie przemiany powoduje ruch ciał niebieskich. Podobny wniosek wynika też z jego teorii czasu: czas to długość ruchu analogicznie do długości linii. Według teorii arystotelików to, co postrzegamy jako upływ czasu jest spowodowane przez ruch ciał niebieskich, a gdyby niebios się zatrzymały, to wszelkie przemiany na Ziemi zatrzymałyby się również.

Dziś łatwo uznawać powyższe za bzdurę. Niemniej bez nowożytnej dynamiki udowodnienie, że czas wcale się nie zatrzyma, gdy Słońce się zatrzyma będzie bardzo trudne. Co więcej, motyw wpływu ruchomych mas na czasoprzestrzeń pojawiał się w w nowożytnej nauce – można wskazać hipotetyczne zjawisko wleczenia eteru elektromagnetycznego, albo mikroskopijny efekt wleczenia układów inercjalnych w Ogólnej Teorii Względności.

Ta teoria czasu jest związana z problemami arystotelesowskiej dynamiki (a właściwie dostrzeżeniem, że są jakieś problemy). Arystoteles w Księdze VI "Fizyki" będzie naciskał, że w danym punkcie czasu nic się nie porusza, ani nie spoczywa¹²⁷. Widać z definicji czasu, jako długości ruchu, długość punktu jest bowiem sprzecznością. Pozwoli mu to dalej rozwiązać paradoks strzały Zenona z Elei: Zenon twierdzi właśnie, że skoro w danym punkcie czasu lecąca strzała jest w bezruchu, to ruch jest sprzeczny. Arystoteles proponuje rozwiązanie: odrzuca przesłankę, że czas składa się z niepodzielnych momentów¹²⁸, ale zarazem uważa, że nie istnieje coś takiego jak ruch, albo spoczynek "w punkcie czasu". To nie jest satysfakcjonujące rozwiązanie, bo prędkości chwilowe i inne podobne wielkości są niezbędne w fizyce.

¹²⁷(Arystoteles, *Zachęta do filozofii; Fizyka*), 234a

¹²⁸(tamże) 239b, (Cohen, *Lecture notes on History of Ancient Philosophy*), "Zeno Arrow Paradox"

Dziś rozwiązanie jest znane, bo rozumiemy małe i infinitezymalne (nieskończenie małe) przedziały czasu. “Punkt czasu” jest pojęciem używanym np. gdy mówimy, że zdjęcie wykonano o 10:00. Naprawdę wykonywano je przez krótką chwilę (czas otwarcia migawki), a rozpoczęło w pewnym punkcie czasu. Jeśli rozważymy prędkość chwilową strzały, to jest jasnym, że im mniejszy interwał czasu rozważymy tym mniejszą drogę ona pokona — w spoczynku jednak będzie tylko wtedy, gdy interwał zrównamy do zera. Ta zbieżność do zera w czasie jest kluczowa dla rachunku różniczkowego. Jeśli będę rozważał coraz mniejsze interwały czasu i coraz mniejsze przesunięcia strzały (w tym interwale), to ich iloraz okazuje się zbiegać do wielkości stałej. Ten iloraz to właśnie jest prędkość chwilowa i zarazem przykład użycia rachunku różniczkowego.

Reasumując, by zrozumieć dynamikę i wielkości drugiego rzędu (o których wspominaliśmy w Sekcji 3.2), należało wyrzucić arystotelesową teorię czasu — oto główny problem do pokonania. Nawet do XIII wieku zwolennicy Arystotelesa — jak Awerrościści czy Robert Angelus¹²⁹ utrzymywali, że bez dziennego ruchu Słońca na niebie w ogóle nie byłoby czasu. Przełomem było odkrycie i zastosowanie Tezy 1.6 w połączeniu z paroma innymi fragmentami Objawienia¹³⁰. O ile przed 1277 próbowano uzgodnić arystotelizm z teologią przez zachowawcze poprawki, o tyle po 1277 przyszła radykalna rewizja. Bł. Duns Szkot zaproponował pierwszy następującą tezę: nawet gdyby niebiosa się zatrzymały, albo nawet gdyby nie istniały, czas nadal będzie płynął i mierzył ruch. Co więcej, nawet gdyby wszystkie ruchy się zatrzymały, to i tak czas będzie płynął i mierzył długość spoczynku. Duns zrobił parę rozróżnień. Po pierwsze (według arystotelików) wielkość obiektu jest wynikiem miary obiektu (“zależy esencjalnie” od miary) w sensie: sterta siana jest złożona z 1000 części takiej a takiej wielkości, a lina o długości 10 stóp z 10 części po 1 stopie. Inaczej jest jednak, gdy użyjemy liny z odrysowaną podziałką, by zmierzyć wzrost człowieka: wówczas wzrost człowieka

¹²⁹(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*) s. 297

¹³⁰(tamże) s. 295

(np 6 stóp) nie zależy esencjalnie od miary, tj kawałka liny o długości 1 stopy. Niekoniecznie więc, wskazuje Duns, pomiar czasu przy użyciu Słońca zakłada rzeczywistą zależność¹³¹. Mierzymy jeden ruch w oparciu o drugi w sposób arbitralny. Dlatego też, wskazuje Duns, nawet gdyby Słońce się zatrzymało, to i tak można nadal mierzyć czas w oparciu o długość dnia.

Po drugie, “nawet gdyby ruch nie istniał, to może istnieć spoczynek”¹³². To znaczy, ciało może zachowywać się dokładnie tak samo jak się zachowuje: tzn może się nie poruszać, może nie zmieniać koloru ani kształtu ani temperatury i tak dalej. Spoczynek może istnieć w czasie, który płynie, nawet gdy nie istnieje żaden ruch. Jakiś byt rozumny mógłby postrzegać bryłę metalu, która nie rusza się ani nie zmienia w żaden sposób i w myślach liczyć kolejne przedziały tego trwania w bezruchu. Tak oto otrzymujemy czas niezależny od ruchu ciał niebieskich —potencjalny i prywatny. Potencjalny —nie istnieje tu i teraz, ale ma możliwość stawania się. Prywatny —to znaczy będący wytworem myśli człowieka. Na tym jednak Duns nie poprzestaje —twierdzi, że czas nie jest prywatny. To znaczy okres czasu może być znany w sposób obiektywny o ile ustalimy miarę tego czasu i miarą może być ruch Słońca i Księżyca, albo też coś innego (w naszym wypadku sekundy, godziny itd). Podobnie długość płótna można odmierzyć łokciem, albo sążniem i miara ta może różnić się nieco, jeśli różni ludzie będą używać swoich łokci —ale to nie ma żadnego związku z istnieniem płótna i tym, że jego długość jest wielkością obiektywną.

Zastąpienie czasu arystotelesowego czasem istniejącym w umyśle nie wyglądałoby wcale na krok naprzód dla fizyki; ale czas Duns’a jest czasem uniwersalnym, co spełnia też warunki postawione w dekreście z 1277¹³³. Potępiono tam następujące poglądy:

- (79) Gdyby niebiosy stały w miejscu, ogień nie paliłby lnu, bo

¹³¹Związane też z rozwojem teorii formy —s. 48

¹³²(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*) s. 296

¹³³(tamże) s. 299

czas by nie istniał”

- (86) Czas i wieczność nie mają istnienia w rzeczywistości, ale tylko w umyśle.”

Duns był aktywny nieco później (urodził się w 1266) i pewnie rozumowanie o zgodności teologią nie ograniczało się do dekretu Tempiera. Duns wskazuje dwa inne argumenty:

- Podczas bitwy Jozuego z Filistynami słońce się zatrzymało, ale nie powstrzymało to upływu czasu.
- Po zmartwychwstaniu (na końcu świata) niebiosa się zatrzymają, a ruch będzie nadal możliwy.

Młodszy od Dunsza (ur. 1280) Piotr Auriol rozwinął nieco argument za tym, że czas nie jest prywatny. Auriol wskazuje, że czymś innym jest czas jako fenomen i czas jako miara wielkości. Czas sam w sobie jest jego zdaniem “niczym więcej niż tym co było i tym co będzie, do czego dodajemy ciągłość”¹³⁴. To znaczy, pewne stany rzeczy następują po sobie, w sukcesji w sposób ciągły, podobnie jak to ma miejsce w ruchu, albo dowolnym innym procesie fizycznym zależnym od czasu. Tak zdefiniowany czas (wskazuje Duhem) “nie ma części” —gdyż “jest sukcesją części”, podobnie jak wielkość ciągła nie ma części w tym sensie. Inaczej jednak jest, gdy mówimy o wielkości czasu —wówczas wielkość ciągła jest złączona z innymi wielkościami, przez to, że ją wyrażamy przez inne wielkości. Na przykład: „ten okres czasu trwa dwa dni”, „ta lina ma trzy metry” i tak dalej. To pozwala powtórzyć z większą jasnością rozumowanie Dunsza, że czas nie jest tworem umysłu (podczas gdy skala czasu powstaje przez odniesienie się do istniejących wielkości).

Kolejnym filozofem, którego wspomnimy jest Francis de Marchia, zmarły w 1344. Odpowiadając na zagadnienie, czy “czas jest czymś

¹³⁴(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*) s. 300

innym od ruchu” poczynił on pewne intrygujące obserwacje¹³⁵, na przykład:

Jak miejsce i ciało, które w tym miejscu lokujemy zachowują się w stosunku do siebie? Termin ‘miejsce’ nie tylko opisuje pewną objętość, ale relację tej objętości, do ciała, które ona zawiera. To samo mogę powiedzieć o ruchu i czasie. Czas nie jest tożsamy z ruchem, gdyż podobnie opisuje pewną relację ruchów do ruchu, który mierzy wszystkie inne. ”

Potem zaś dodaje “Więc gdy nazywamy ruch pierwszych niebios czasem, mamy na myśli ten ruch w relacji do innych ruchów”. W porównaniu do Arystotelesa, termin staje się bardziej abstrakcyjny: Arystoteles myślał o wielkości ruchu per analogiam do długości linii. De Marchia mówi o relacji wielkości do innych wielkości. Czas jest relacją w jakiej przemiany współlistnieją: np. stany zegara na ścianie pozostają w relacji jednoczesności do stanów ogrzewającego się czajnika, albo stanów rosnącej rzodkiewki. Każdej klasie stanów jednoczesnych możemy nadać numer, tak, że wszystkie stany późniejsze mają numer większy, a wcześniejsze numer mniejszy —i to jest pojęcie czasu.

Oto przykład wzrostu abstrakcji pojęć, który jest tak typowy dla nowoczesnej fizyki (można porównać z przykładami ze s. 9). Arystoteles wszystko, co się dało definiował przez konkret: późni scholastycy idą znacznie dalej. Jeszcze bardziej oczywiste będzie to u kolejnego autora, biskupa Małty Mikołaja Boneta (zm. 1343). Bonet zauważa, że trzeba świadomie rozgranaczyć o jak rzeczywistych obiektach mówimy (albo o jak abstrakcyjnych). Czy istnieje absolutnie nieruchome ciało, względem którego poruszają się inne? Bonet¹³⁶ wskazuje, że bezsensownym jest szukać rzeczywistego obiektu tego rodzaju, bo wszystkie ciała są zdolne do jakiegoś ruchu. Da się

¹³⁵(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*) s. 321

¹³⁶(tamże) s. 352

wskazać jakąś objętość przestrzeni i powiedzieć —o tutaj, to jest mój punkt odniesienia —ale nie wskazujemy w ten sposób rzeczywistego obiektu, tylko obiekt matematyczny, który istnieje wyłącznie w naszych myślach. Takie koncepcyjne obiekty mogą “mieć większą lub mniejszą abstrakcję”, ciało może być pomyślane, jako mające taką czy inną substancję, czy własność fizyczną.

Podobnie mówiąc “linia” mówimy zupełnie co innego w sensie rzeczywistym i w sensie matematycznym. Linia matematyka¹³⁷ to pewien odcinek ustalonej długości, niezwiązany z żadną materią, ani cechami fizycznymi. Linia rzeczywista to może być kij, sznur itd —długość takiej linii może się nawet zmienić przez rozciągnięcie, albo przycięcie.

Matematyk abstrahuje od zmian, jakiemu podlega przedmiot; więc linia tak rozumiana nie zmienia się w żaden sposób gdy zmienia się jej przedmiot. (...) To samo trzeba stwierdzić [o czasie]. Matematyk rozważa długość ruchu dziennego (tzn. Słońca) i oddziela, przez abstrakcję, wszelką materię i wszelki ruch.

W ten sposób, Bonet stwierdza, że nawet jeśli Słońce pewnego dnia przyspieszy albo zwolni to czas będzie płynął tak samo —dzień matematyczny pozostanie okresem 24 godzin, dzień fizyczny zaś się zmieni.

3.4 Teoria Impetu

Wspomnieliśmy hipotezę ”ilości ruchu“ Jana Filopona, pokrewną dzisiejszemu pojęciu energii kinetycznej. Awerroes kpił z tej hipotezy trochę¹³⁸, niemniej pewnie dzięki jego pismom łacinnicy mogli o niej usłyszeć. Stosunek ich do ”ilości ruchu“ był początkowo sceptyczny.

¹³⁷(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*) s. 357

¹³⁸(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. xiv

Sytuacja się jednak zmieniła w 1277, gdy przeszkody logicznej konieczności rozsypały się raz na zawsze, a niektórzy skotyści odkopali hipotezę Filopona. Hipoteza ta w połączeniu z tezą o przygodności teologów (Teza 1.6) zrodziła nową teorię dynamiki. Teorię rozwinął w XIV wieku Jean Buridan z Bethune: jego praca będzie podstawą pojęć pędu i energii kinetycznej, a zaprezentowana dyskusja będzie powtarzana przez kolejne kilkaset lat.

Niżej przedstawimy teorię impetu Buridana w oparciu o jego oryginalne pisma przytoczone przez Duhema.

Antyperystaza. Komentując "Fizykę" Arystotelesa odpowiada Buridan m.i. na następujące pytanie:

"Czy pocisk, gdy opuści rękę, jest poruszany przez powietrze? Jeśli nie, to co go porusza?."

Arystoteles jest zdania, że pocisk jest popychany przez powietrze, które zostało poruszone ręką. Buridan wyjaśnia¹³⁹

"Wydaje się, że pocisk, opuściwszy rękę, która go rzuca, nie może być poruszany przez powietrze; powietrze, zaiste, które musi być rozdzielone przez ten pocisk, wydaje się stawiać opór ruchowi. Co więcej, możesz powiedzieć, że ten, kto rzuca pociskiem porusza na początku ruchu nie tylko ten pocisk, ale także pobliskie powietrze, i to wzruszone powietrze rusza pociskiem na jakąś odległość. Ale na to damy tą odpowiedź: co jest tym co porusza to powietrze, gdy już nie jest ono poruszane przez tego, kto porusza pociskiem? Trudność jest taka sama dla powietrza jak i kamienia" "Arystoteles bada dwie opinie. Pierwsza przywołuje to, co on nazywa antyperstazą. Pocisk szybko opuszcza miejsce, w którym był. Natura, która nie pozwala na istnienie próżni, wysyła z tą samą szybkością trochę powietrza za pocisk. To powietrze, ożywione szybkim ruchem, popycha go do przodu; ten sam efekt się powtarza dopóki ciało nie ruszy się o pewną odległość." Arystoteles nie zgadza się z tą teorią. Buridan wymyśla trzy eksperymenty myślowe na jej obalenie:

¹³⁹(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 28

- Kręcący się bąk albo kamień szlifierski kręcą się długo, pozostając w tym samym miejscu, nie mogą być więc popychane przez powietrze.
- W rzucie oszczepem o dwóch ostrych końcach powietrze nie może popychać oszczepu, bo z łatwością jest rozdzielone przez tylny koniec.
- Statek holowany pod prąd rzeki nie może się natychmiast zatrzymać, kontynuuje ruch przez długi czas. Sternik jednak czuje nacisk powietrza z przodu, nie z tyłu. Gdyby statek był załadowany sianem, albo słomą, byłoby widać, że powietrze popycha go od tyłu.

Druga teoria ruchu Arystotelesa Arystoteles preferuje inne wyjaśnienie ruchu pocisku. Powietrze przy rzucie, gwałtownie zaburzone może ruszyć pocisk i nową masę powietrza, nowa masa powietrza rusza znowu pocisk i kolejną masę powietrza, kolejna masa powietrza rusza pocisk i tak dalej.

To jednak, wskazuje Buridan, dalej nie mówi nam "dlaczego kamień szlifierski się kręci" gdy ktoś go rozpędzi i puści. "Owszem, gdyby ktoś okrył kamień jakimś płótnem, które oddziela go od powietrza z otoczenia, kamień nie przestałby się kręcić", a więc "to nie powietrze go porusza". Łódź, która pociągnięta liną dalej przez jakiś czas płynie siłą rozpędu również nie jest poruszana przez powietrze. Gdyby łódź była "nakryta płachtą, którą ktoś ściągnie i tym sposobem usunie przylegające do niej powietrze, łódź się z tego powodu nie zatrzyma". Co więcej, "jakkolwiek powietrze się rusza, łatwo je rozdzielić; nie wiadomo więc jak mogłoby unieść kamień o masie tysiąca funtów" wystrzelony przez balistę czy katapultę. Co więcej, na gruncie teorii Arystotelesa "można by rzucić pióro dalej niż kamień i lżejsze ciało dalej niż cięższe ciało o tych samych wymiarach i kształcie" gdyż "zaburzone powietrze łatwiej poniesie pióro niż kamień, lekkie ciało niż ciężkie ciało." To jednak fałsz: kamień jest łatwiej rzucić, niż pióro. Takimi przykładami Buridan demonstruje,

że teoria Arystotelesa jest niewystarczająca.

Oto jeszcze jeden ciekawy komentarz o falach mechanicznych:

”Dlaczego powietrze się porusza gdy to, co wyrzuciło pocisk, przestaje się poruszać? Komentator (Awerroes) odpowie, że powietrze jest napędzane przez lekkość, to znaczy naturę powietrza by utrzymywać siłę napędową, gdy ktoś je zaburzy; więc przez ten ruch dźwięk rozchodzi się na duże odległości; my musimy pokazać to zjawisko w analogii do tego, co widzimy w wodzie; ktoś rzuca kamień na niezaburzoną tafłę wody; woda w którą wpada kamień rusza wszędzie wokół wodę która jest obok, a ta rusza inną i w efekcie widzimy kołowe fale, które podążają za sobą do brzegu; w powietrzu więc formuje fale tego samego rodzaju.“

Buridan dodaje problem, że lekkość jest własnością ruchu ku górze, a ciało ruchome może się poruszać w dowolnym kierunku. Dalej myśli: czy ta ”lekkość“ była w powietrzu już wcześniej, czy może rzucający pociskiem nadał tą cechę powietrzu. Jeśli była wcześniej, to Buridan uważa, że powietrze powinno mieć taką samą siłę napędową zanim pocisk jest rzucony. Ale jeśli nie, to zostaje teoria, że ruch ręki rzucający pocisk nadaje ”lekkość“ powietrzu. Jest to dość dziwne.

Teoria impetu Z powyższej analizy wynika, że powietrze stawia opór ciałom ruchomym, nie może więc ich popychać. Buridan uznaje więc, że przyczyna ruchu jest cechą kamienia.

Jeśli, przeciwnie, ta lekkość jest [nowo nadaną] cechą (...), możemy i musimy powiedzieć, że ta rzecz jest cechą kamienia, albo rzuconego pocisku, i że ta rzecz jest przyczyną ruchu; jest jasne, że jest lepiej zrobić takie założenie, niż odwołać się do powietrza które by ruszało pocisk; raczej, istotnie, powietrze wydaje się stawiać opór.

Do tej pory analiza Buridana przypominała arystotelesową dialektykę. Gdy jednak Buridan buduje swój system objawia się przygodność wyjaśnień. ”Lepiej zrobić takie *założenie*“, bo powietrze

”wydaje się stawiać opór“. Jest to też wyłożone paragraf dalej, gdzie Buridan, opisawszy hipotezę impetu, podsumowuje:

Musimy, wydaje mi się, przyjąć to wyjaśnienie, bo, z jednej strony, inne wyjaśnienia są fałszywe, a z drugiej, ponieważ wszystkie zjawiska fizyczne są z tym wyjaśnieniem spójne.

Oto zaś hipoteza impetu:

Gdy poruszyciel rusza rzecz ruchomą, nadaje jej pewny impet, pewną moc zdolną poruszać tą rzecz w tym samym kierunku, w którym poruszyciel porusza ją. (...) Im większą prędkość, z którą poruszyciel porusza rzecz, tym mocniejszy jest impet, jaki jej nadaje. To ten impet porusza kamień po tym jak ten, który rzuca przestaje nim ruszać; ale przez opór powietrza, i także przez grawitację, która skłania kamień, by ruszać się w kierunku przeciwnym do tego, w którym impet ma moc go poruszać, ten impet się ciągle osłabia;

Wydaje się, że impet jest składany jak wektor, ale nie ma tu jeszcze mowy o konkretnych ilościach liczbowych. Co więcej, Buridan tłumaczy impetem także efekty grawitacji¹⁴⁰:

To wydaje się być też przyczyną dlaczego naturalny spadek mas ciągle przyspiesza. Na początku tego spadku, zaiste, grawitacja porusza tylko ciało; więc ciało spada wolniej; ale, niedługo potem, ta grawitacja nadaje pewien impet ciężkiemu ciału, impet, który porusza ciało w tym samym czasie co grawitacja; ten ruch staje się szybszy; ale im szybszy się staje, tym bardziej intensywny staje się impet; więc można zobaczyć, że ruch będzie ciągle przyspieszał.

¹⁴⁰(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 31

Mowa tu o "przyczynach sprawczych" ruchu, co jest próbą opisu na gruncie fizyki Arystotelesa — jeśli pcham wózek to ruch wózka ma przyczynę (pchanie) — stwierdzenie to jest prawdziwe (choć różne od fizyki nowożytnej). Co jednak, jeśli przestaję pchać, a wózek dalej jedzie? Arystotelicy mówią, że przyczyną jest ruch powietrza, a Buridan, że impet. W efekcie Buridan nie traktuje efektu grawitacji do końca po newtonowsku, jako przyspieszenia czy siły, gdyż jego zdaniem sama grawitacja rusza ciałem bez udziału impetu. Związek między grawitacją i nadawaniem impetu odgaduje trafnie. Podobnie też zgaduje, że "im więcej ciała zawiera materii tym więcej może otrzymać impetu" i jest to "w proporcji" do ilości materii. Wynika więc, że mały "kawał żelaza" można rzucić dalej, niż "kawał drewna". "Gęste i ciężkie ciało" otrzymuje "więcej impetu" i z "większą intensywnością". Na marginesie tej dyskusji Buridan notuje kolejną innowacyjną uwagę, że podobnie żelazo może otrzymać więcej ciepła, niż ta sama ilość drewna czy wody. Zwraca też uwagę, na kształty i wymiary, mając pewnie na uwadze opór powietrza. Kawałek żelaza polecą dalej niż kawałek drewna w tym samym kształcie i wymiarach, przez większy impet. Wielki kamień szlifierski trudniej zatrzymać, niż małe koło.

Mogę rzucić kamień dalej niż pióro albo kawał żelaza czy ołowiu, który mieści się w mojej dłoni dalej niż kawał drewna tej samej wielkości. Odpowiadam, że przyczyna jest taka. Wszystkie formy i naturalne usposobienia są otrzymane w materii i *w proporcji do [ilości] materii*; więc im więcej ciała zawiera materii, tym więcej może otrzymać impetu; i intensywność, z którą ciało może go otrzymać jest większa. A w gęstym i ciężkim ciele jest więcej surowej materii niż w rozrzedzonym i lekkim ciele, jeśli wszystkie inne cechy są identyczne; gęste i ciężkie ciało więc otrzymuje więcej tego impetu, i otrzymuje go z większą intensywnością (...); podobnie pewna ilość żelaza może otrzymać więcej ciepła, niż taka sama objętość wody albo drewna.

Kosmologia Buridana Buridan zmodyfikował też kosmologię peripatetyków, proponując alternatywę dla "boskich inteligencji" potępionych w 1277:

Nie ma w Biblii by istniały inteligencje, które dostarczają sferom niebieskim swojego ruchu; jest więc dopuszczalne pokazać, że nie ma potrzeby zakładać istnienia takich inteligencji. Możesz powiedzieć, zaiste, że Bóg, gdy stworzył świat, poruszył każdą ze sfer niebieskich tak, jak chciał; że nadał każdej z nich impet, który porusza ją do tej pory; więc Bóg nie musi poruszać ich od tego czasu, oprócz może wywierając ogólny wpływ, którym podtrzymuje wszystkie dziejące się wydarzenia; Bóg mógł również odpocząć siódmego dnia od pracy, którą skończył, powierzając wzajemne oddziaływania rzeczom stworzonym. Te impety, którymi Bóg obdarzył ciała niebieskie, nie są osłabione ani zniszczone później, bo nie ma w tych ciałach niebieskich skłonności do innych ruchów, i nie ma też dłużej żadnego oporu, który mógłby zepsuć i stłumić impet.

Buridan jasno wskazuje na teologiczne oparcie nowego obrazu świata. Stwórca mógł puścić w ruch swoje dzieło, zgodnie z zarysowanym już obrazem uporządkowanego i regularnego świata, podobnie do zegarmistrza puszczającego w ruch mechanizm, nie ożywioną i dążącą ku jakiemuś celowi naturę.

3.5 Miejsce, wielość światów i grawitacja

Miejsce w fizyce Arystotelesa W fizyce Arystotelesa, by wskazać ruch potrzebne jest nieruchome *miejsce*¹⁴¹, ruch postępowy jest bowiem zmianą miejsca ciała. Miejsce, jak wskazaliśmy, jest materialną powierzchnią otaczającą ciało (np. warstwą powietrza, albo

¹⁴¹(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 139

też wody, jeśli mówimy o ciele pływającym). Taka definicja pozwala elegancko opisać różne ruchy, demonstrując wielką ogólność systemu Arystotelesa. Człowiek unoszący rękę, rozciągający się balon, napięta łuk, obracające się koło garniarza, woda wyciekająca z wiadra — to wszystko słusznie uznajemy za przykłady ruchu. Warstwa powietrza która otacza biegacza albo balon, albo koło, albo wodę to właśnie miejsce. Gdy następuje ruch, miejsce ciągle polega zniszczeniu i zastąpieniu przez nowe miejsce.

Na Ziemi definicja działa wyśmienicie, ponad Ziemią pojawia się problem: sfera gwiazd stałych, zewnętrzna sfera wszechświata (złożonego, według opinii filozofów, z koncentrycznych sfer niebieskich) nie ma miejsca, bo nic jej nie otacza. Równocześnie porusza się, więc musi być zdolna do ruchu. Ruch jest obrotowy można więc założyć, że sfera jest zdolna tylko do takiego ruchu. Arystoteles uznał więc, że miejscem sfer niebieskich jest materialny środek sfery, czyli Ziemia.

Było parę innych propozycji na rozwiązanie tego problemu. Temistos i Al-Farabi lub Ibn Bajja¹⁴² utrzymywali, że zewnętrzna sfera wszechświata ma miejsce nie od wewnątrz, a od środka. Miejscem jest warstwa wypełniająca ją materii, na kształt tulei w łożysku ślizgowym. Inny sposób polega na założeniu, że ponad sferą gwiazd stałych istnieje jeszcze jedna sfera, która jest nieruchoma. Chrześcijańscy teologowie (Św. Beda, Św. Anzelm)¹⁴³ woleli to rozwiązanie, bo w ich rozumieniu niebiosy nie powinny być zawieszony na Ziemi, jako bardziej szlachetne i idealne niż Ziemia. Wówczas sfera gwiazd stałych ma miejsce na zewnątrz, co umożliwi ruch obrotowy. Żadne z wymienionych rozwiązań nie dopuszcza by cały wszechświat mógł się poruszać ruchem prostoliniowym, według definicji Arystotelesa. Przez długi czas nie było to problemem, bo nie ma powodu podejrzewać, by wszechświat się poruszał. Zmieniło się to wskutek dekretu z 1277 roku, gdzie potępiono stwierdzenie, jakoby Bóg nie mógł poruszyć wszechświata ruchem prostoliniowym.

Wnioski widzieliśmy już u Nicholasa Boneta: scholastycy wymy-

¹⁴²(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 141

¹⁴³(tamże), s. 174

ślili, że wcale nie trzeba mieć żadnego materialnego miejsca, żeby wyobrazić sobie ruch; wystarczy wymyślić jakiś punkt albo powierzchnię względem której następuje ruch, albo spoczynek. Pierwszy taką teorię zasugerował John Bassols, kontynuując wcześniejsze próby szkoły skotystów¹⁴⁴,

W rezultacie matematyk, z punktu widzenia wyjaśnienia nauki i nie udając, że tak jest w rzeczywistości wyobraża sobie linię narysowaną od jednej części sfery niebios do drugiej, przechodząc przez środek świata, który sam jest wyobrażonym punktem. Ta linia, kończąc się w dwóch częściach sfery niebios, otrzymuje nazwę osi świata; jej krańce zaś są zwane biegunami świata. Są to jedynie punkty które ktoś wyobraża sobie na sferze niebieskiej. To względem tych właśnie biegunów i tego właśnie środka to miejsce nazywa się nieruchomym.

Sfera niebieska rotuje więc wokół takiej wymyślonej osi, podobnie może się poruszyć ruchem prostoliniowym względem wymyślonego punktu. Rozumowanie prowadzące do powyższego wniosku możemy naszkicować takim przykładem: założmy, że łódź jest zacumowana w korycie rzeki. Łódź nie porusza się, za to opływają ją ciągle masy wody, ze względu na nurt. Miejsce jest to pewna warstwa wody i powietrza otaczająca łódź: ale miejsce nie jest nieruchome; tworzą je coraz to inne masy wody, ze względu na nurt. Jak więc łódź może mieć nieruchome miejsce, by zdefiniować jej ruch, albo spoczynek? Miejsce być musi nie warstwą wody, a relacją równoważności kolejnych warstw wody (albo raczej kolejnych warstw czegokolwiek). W efekcie otrzymujemy miejsce jako abstrakcję: geometryczną powierzchnię otaczającą ciało. Doktrynę tą rozwina dalej terminisci, zwolennicy Ockhama. Będzie to kolejny wyłom w teorii ruchu naturalnego Arystotelesa, gdzie miejsce działa na ciało jako pewien cel tendencji ruchu.

¹⁴⁴(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 207

Wielość światów i wielość planet. Efekty grawitacji arystotelelicy wyjaśniali przez żywioły (elementy) i natury żywiołów. Żywioł ziemi ma naturalne miejsce w środku świata, dzięki czemu upuszczony kamień spada i tonie. Według tej hipotezy środek naszej planety jest w absolutnie wyróżnionym punkcie, wokół którego skupiają się wszystkie kamienie i skały wszechświata.

Wynika z tego trochę wniosków, które dziś wydają się dość sztuczne. Po pierwsze, nie może istnieć wiele wszechświatów. Materia ziemska, mając swoje naturalne miejsce w jednym świecie, nie może mieć drugiego naturalnego miejsca gdzie indziej, bo wtedy nie dałoby się sprecyzować, w którą stronę materia powinna się poruszać. Z podobnego powodu nie może również istnieć wiele planet podobnych do Ziemi; w takiej sytuacji byłoby wiele naturalnych miejsc jednocześnie¹⁴⁵. Inne planety Układu Słonecznego nie były z resztą uznawane za planety przez starożytnych i nie było do tego powodów. Obserwowane gołym okiem wyglądają one na jasne punkty podobne do gwiazd, stąd zwano je gwiazdami wędrującymi. Według arystotelików są stworzone z piątego rodzaju materii, zwanego eterem.

Łatwo (łatwo dla nas) wymyślić prostą obiekcję: otóż może być wiele naturalnych miejsc, a ciało będzie dążyć do takiego, które jest najbliższe. Duhem zaznacza, że Arystoteles rozważył taką możliwość. Postawił pytanie: czy waga masywnego ciała zmienia się wraz z odległością od centrum świat? Awerroes zauważył, że to pytanie zawiera inne: "czy waga jest efektem przyciągania się podobnych pierwiastków (jak uważali Pitagorejczycy i Platon w "Timajosie")"¹⁴⁶, czy nie? Odpowiedź na gruncie systemu Arystotelesa brzmi: nie. Gdyby tak było, to większa odległość od naturalnego miejsca zmieniałaby naturę ciała¹⁴⁷. Św. Albert Wielki pisał o tym następująco:

...gdy pierwiastek jest tworzony, coś, co go tworzy
daje mu nie tylko formę, ale wszystko co wynika z tej

¹⁴⁵(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 441

¹⁴⁶(tamże), s. 446

¹⁴⁷(tamże), s. 447

formy; daje mu, szczególnie, naturalny ruch i naturalne miejsce, co jest konsekwencją formy wewnętrznej. Gdyby bliskość czy odległość od naturalnego miejsca miały wpływ na formę substancjalną pierwiastka, pierwiastek byłby złożony z dwóch form mających przeciwne własności; jedna z tych form ciągnęłaby ciało ku czemuś najbliższemu. Ta forma emanowałaby z przyciągającego ciała podobnie do formy którą magnes produkuje w żelazie.

Mówiąc jaśniej, jeśli coś jest naturą pierwiastka, tak jak naturą złota jest być ciemnożółte i błyszczące, to nie spodziewamy się, by to coś zmieniało się z położeniem. Wtedy nie jest to natura samego pierwiastka, a własność układu dwu lub więcej ciał. Magnetyzm, a także grawitacja w rozumieniu Newtona to rzeczywiście takie własności wzajemne.

Próby pogodzenia niemożliwości istnienia wielu wszechświatów z wiarą we wszechmoc Boga sięgają początków XIII w., gdy przetłumaczono dzieła Awerroesa. Przed 1277 wśród paryskich i oksfordzkich doktorów przeważają opinie, że faktycznie Bóg nie mógłby stworzyć wielu wszechświatów¹⁴⁸. Po 1277 większość uczonych przyjmuje opinię przeciwną w zgodzie z dekretem Tempiera, co wymaga dostosowania teorii ruchu naturalnego. Opinię Godfryda z Fontaine można podsumować tak, że w każdym nowo stworzonym wszechświecie, nawet identycznym jak nasz, wszystkie pierwiastki będą miały swoje własne naturalne miejsca (np. własny środek, do którego dążyć będzie pierwiastek ziemski). Naturalne miejsca w naszym świecie nie będą miały żadnego wpływu na te światy. Tą opinię odtwarzają też William z Varon, John Bassols i Tomasz ze Strasburga. Awerrości (np. Jan z Jandun) odpowiedzieli na ten pomysł następująco: jeśli ziemia z jednego świata ma naturalne miejsce w środku tego świata, a ziemia z drugiego świata ma naturalne miejsce w środku drugiego świata, to znaczy, że formy substancjalne nie są identyczne¹⁴⁹. Więc

¹⁴⁸(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), 455

¹⁴⁹(tamże), s. 460

nie da się stworzyć drugiego takiego samego wszechświata. To znaczy, może istnieć drugi wszechświat, który wygląda dokładnie identycznie pod względem wyników wszystkich doświadczeń jakie można w nim przeprowadzić, ale nie będzie to ten sam wszechświat. Zauważmy, że to z kolei znaczy, że problem istnieje tylko w ramach systemu Arystotelesa, a nie w widzialnej rzeczywistości.

Powyższy zarzut awerroistów podważył William Ockham¹⁵⁰, tworząc przy tym bardzo innowacyjne rozwinięcie teorii ruchu naturalnego. Ogień i powietrze w teorii Arystotelesa mają naturalne miejsca w postaci sfery ponad Ziemią — to znaczy, że mają wiele naturalnych miejsc. Dążą zaś zawsze ku jednemu miejscu, poruszając się do góry. Wynika więc, że pierwiastek może mieć wiele naturalnych miejsc i dążyć tylko ku jednemu z nich: tak dzieje się z ogniem i powietrzem i tak samo może się dziać również z ziemią. Ciało o danej formie substancjalnej może więc dążyć do różnych naturalnych miejsc w zależności od swojego położenia. Oto więc w drugim wszechświecie może istnieć identyczna substancjalnie ziemia, mając przy tym naturalne miejsca w środku drugiego wszechświata.

Ockham obala również obiekcję, że ciało nie może oddalać się od jednego naturalnego miejsca, zbliżając się do drugiego. To bowiem właśnie robi ogień unosząc się ku górze. Zbliża się wtedy do swojego naturalnego miejsca nad Ziemią, a oddala od innego naturalnego miejsca po przeciwległej stronie Ziemi. To samo należy uogólnić na pierwiastek ziemski. Oznacza to też, że arystotelesowa teoria grawitacji jest sprzeczna sama ze sobą, co jest kolejnym jej gwoździem do trumny. Krytykę Ockhama powtarza Robert Holkot¹⁵¹. Buridan ją jednak ignoruje, a Albert z Saksonii raczej woli bronić pozycji arystotelików przed Ockhamem: twierdzi, że sfera ognia, do której dąży ogień jest nadal jednym miejscem, bo jest połączona w całość. Materia ogniasta dąży więc do jednego miejsca tylko różnymi ścieżkami. Co ciekawe, Albert, przyjmując doktrynę Arystotelesa nie może przyznać niemożliwości, ze względu na dekret z 1277. To staje

¹⁵⁰(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 463

¹⁵¹(tamże), s. 466

się podstawą do wartych zacytowania rozważań¹⁵²:

Według doktryny Arystotelesa stwierdzamy, że istnienie wielu niekoncentrycznych światów jest niemożliwe naturalnie. Nie mniej prawdziwe jest, że Bóg może stworzyć wiele światów, gdyż jest wszechmocny. Ostatni wniosek jest zgodny z poprzedzającymi go wnioskami: środkami nadprzyrodzonymi, może istnieć wiele światów, równocześnie albo po sobie, koncentrycznych albo ekscentrycznych, według woli Boga.

Jaśniej ujął to wcześniej gorliwy awerroista Jan z Jandun¹⁵³.

Wszystko to nie mówi nic o mocy Boga; zawsze strzeże się jej nieskończonej wolności i nieskończonej mocy by stworzyć wiele światów, nawet jeśli rozumowanie nie może być wyprowadzone z rzeczy zmysłowych; i Arystoteles wprowadza swoje rozumowanie z rzeczy zmysłowych.

Arystoteles więc rozumuje tylko “z rzeczy zmysłowych”. To znaczy, rozumuje w ramach konwencji. W efekcie to, co Arystoteles nazywa niemożliwym, raczej niemożliwe nie jest. Co to w ogóle znaczy “nie może istnieć wiele światów”, wobec stwierdzenia “Bóg może stworzyć wiele światów”, i co więcej “Bóg stworzył świat”? Co to znaczy na gruncie “rzeczy zmysłowych”, skoro innych światów nie widać? Odpowiedź brzmi “nic”.

Efekty dekretu z 1277 na możliwość istnienia wielu światów są następujące: krytycy odkrywają poważne problemy w teorii Arystotelesa, a arystotelicy są zmuszeni do uznania ich teorii za ograniczoną do przekonań, które można wywnioskować z rzeczy zmysłowych. To drugie jest ważniejsze niż to pierwsze. Nie wiesz bowiem zawczasu, co można wywnioskować z rzeczy zmysłowych, a co nie można: w efekcie dowolny wniosek Arystotelesa może być tylko domysłem na

¹⁵²(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 470

¹⁵³(tamże), s. 462

gruncie konwencji. Fizyka Arystotelesa nie może już orzekać o konieczności i niemożliwości, bo nic nie jest konieczne, ani niemożliwe, gdy sam osąd nie jest pewny. Tak oto stara fizyka przechodzi w nową, zachowując jeszcze główne elementy fizyki Arystotelesa.

Nicole Oresme skorzysta z nowej swobody tworzenia hipotez, z krytyki Ockhama i starszych pomysłów, by rozwinąć bardzo nowatorską teorię, na której oprze się Mikołaj Kopernik i jego następcy. Oto, co pisze¹⁵⁴:

Wyobraźmy sobie porcję pierwiastka ognistego w samym środku naszego świata, tak, że połowa tej porcji leży po jednej stronie środka, a połowa po drugiej stronie. Niech a będzie środkiem, b jedną połową, a c drugą połową. Zakładam, że wszystko, co mogłoby hamować naturalny ruch ognia jest usunięte. Każda część będzie dążyć ku przeciwnym stronom sfery otaczającej Ziemię, oddzielając się od siebie nawzajem. Ale jeśli te dwie części ognia są połączone w sferę, tak, że nie mogą być oddzielone od siebie nawzajem i wobec usunięcia innych przeszkód ta mała sfera, czy porcja ognia się nie ruszy, bo nie będzie miała powodu, by się ruszyć się bardziej w jedną stronę, albo w drugą.

Prawo ruchu naturalnego musi być zachowane zarówno dla jednej części, jak i drugiej części; żadna nie może być wyróżniona, skoro fizyka Arystotelesa nic nie mówi o wyróżnionych kierunkach. Jest to typowy argument z symetrii, jaki stosuje się w fizyce po dziś dzień. Oresme zaznacza: "To jest w pełni zgodne z filozofią Arystotelesa".

Przypomnijmy obiekcję Alberta z Saksonii przeciw Ockhamowi: że cała sfera ognia jest jednym naturalnym miejscem. Obiekcja nie wystarczy, by uchronić się przed problemami wskazanymi przez Ockhama. Dla sfery ognia istnieje bowiem ten sam problem, co dla dwóch światów i dwóch naturalnych miejsc pierwiastka ziemskiego. W efekcie

¹⁵⁴(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 473

przykład dwóch światów jest analogiczny do tego, co jest możliwe dla pierwiastka ognistego¹⁵⁵:

Podobnie też ktoś mógłby powiedzieć, że jeśli porcja ziemi była w równej odległości między dwoma światami i mogła być rozdzielona, to jedna część poleciałaby do środka jednego świata, a druga część do środka drugiego świata. Jeśli porcja nie może być rozdzielona, to nie ruszyłaby się w ogóle, bo nie ma do tego skłonności, niczym kawałek żelaza między dwoma magnesami o tej samej sile.

Analogia do magnesu odnosi się do znanej wcześniej scholastykom opinii¹⁵⁶, że ciężar wynika z przyciągania ciał przez środek świata, podobnie jak magnes przyciąga kawałki żelaza. Pozwala to rozważać naturalny ruch jako efekt oddziaływania na odległość i oddziaływanie na odległość jako superpozycję oddziaływań części układu. Na przykład: przyciąganie kawałka żelaza między dwoma magnesami niweluje się do zera, natomiast przyciąganie kawałka żelaza przez dwa magnesy obok siebie, o zgodnym ułożeniu biegunów jest silniejsze. Podobnie też można sferę ognia, naturalne miejsce pierwiastka ognistego podzielić na części i rozpatrywać je osobno: podobnie jak dziś obliczamy oddziaływania grawitacyjne brył na gruncie teorii Newtona, licząc całki. Arystoteles i Awerroes (a z nimi Albert) by się z tym nie zgodzili: dla nich ruch kamienia wynika z natury kamienia, podobnie jak szukanie jedzenia przez psa wynika z natury psa. Sfera ognia jest przez nich rozpatrywana jako całość, liczy się zbliżanie się do całości, a nie zbliżanie się, lub oddalanie się do elementów. Oresme rozumuje zupełnie inaczej. Kolejna jego uwaga tylko to potwierdza, Oresme bowiem zauważa, że opisany wyżej stan równowagi porcji pierwiastka ognistego w centrum świata nie może trwać, gdyż jest to równowaga niestabilna; ”podobnie ciężki miecz nie może stać prosto na czubku ostrza nawet przez chwilę“.

¹⁵⁵(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 474

¹⁵⁶(tamże), s. 471

Mając na uwadze to wszystko wraz z wcześniejszą dekonstrukcją pojęcia miejsca, można dalej oczekiwać pozbycia się pojęcia naturalnego, wyróżnionego miejsca, które w teorii Arystotelesa warunkuje ruch naturalny. To właśnie zrobi Oresme¹⁵⁷. Naturalne, nieruchome miejsce jest jego zdaniem zbyteczne: ciężkie ciała poruszają się do dołu, a lekkie do góry, relatywnie w stosunku do siebie. Planeta Ziemia jest więc kulą ciężkiej materii otoczoną warstwami materii lekkiej. Pierwiastek ziemski jest w środku, woda, powietrze i ogień na zewnątrz, zgodnie z ogólnym prawem, że ciała masywne zbliżają się do siebie nawzajem. W efekcie:

ciężkie ciało do którego żadne lekkie ciało nie jest przywiązane nie będzie się poruszać samo z siebie; gdyż w takim miejscu, gdzie ciężkie ciało spoczywa nie będzie góry ani dołu, bo w tym wypadku powyższe prawo naturalne nie będzie działać.

Podobna teoria została zaproponowana dużo wcześniej przez Platona w "Timajosie" i podjęta przez Plutarcha, ale dopiero Oresme ma możliwość ją rozwinąć, obalając tezy systemu Arystotelesa¹⁵⁸:

Wyobrażam sobie cylinder albo rurę z miedzi lub innego materiału tak długą, że sięga od środka Ziemi do regionu ponad sferami żywiołów, do samych niebios. Twierdzą, że jeśli ta rura byłaby wypełniona ogniem wszędzie oprócz niewielkiej ilości powietrza na samej górze, to powietrze opadłoby do środka Ziemi, dlatego, że cięższe ciało opada niżej niż lżejsze ciało. Gdyby jednak cylinder był pełen wody, z małą ilością powietrza niedaleko środka Ziemi, to powietrze uniosło by się do niebios, bo z natury powietrze zawsze porusza się do góry w wodzie. Z tych przykładów widać, że powietrze może, przez swoją naturę poruszać się do góry, albo do dołu w obrębie polowy średnicy sfery żywiołów.

¹⁵⁷(P. Duhem i Ariew, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*), s. 476-477

¹⁵⁸(tamże), s. 478

To jest problem dla fizyki Arystotelesa, bo powietrze okazuje się mieć dwa różne naturalne ruchy, w przeciwnych kierunkach. Z tego eksperymentu myślowego wynika, że ruch naturalny nie jest, co do zasady, w kierunku ustalonego miejsca, w rodzaju sfery powietrza albo środka Ziemi, ale jego kierunek wynika z rozkładu materii. Gdyby, na przykład, istniała planeta złożona z samego powietrza (bez pierwiastka wodnego i ziemskiego) nie byłoby na niej sfery powietrza, tylko okrągła chmura powietrza.

Doktrynę powyższą można uznać za spektakularny sukces. Wspominaliśmy, że teoria ruchu naturalnego Arystotelesa zdominowała fizykę na 1500 lat, dostarczając zgrabnego opisu zjawisk grawitacji, hydrostatyki i aerostatyki. Oresme jako pierwszy podaje alternatywną teorię tak samo dobrą, lub lepszą pod każdym względem. Konsekwencje tej doktryny są bardzo spektakularne. Ziemia, odewana od wyróżnionego punktu w przestrzeni może się poruszać.

3.6 Prawo spadku swobodnego

Przy zaniedbaniu oporu powietrza masywne ciała spadają poruszając się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Zrozumienie tego faktu było ważnym krokiem do odkrycia dynamiki Newtona. Prawo to zostało pierwszy raz opublikowane przez dominikanina Domingo de Soto w 1551¹⁵⁹. Nie podał go on jako swojego odkrycia, ale przytoczył je, jakby było szeroko znane. Prawdopodobnie od de Soto Galileusz nauczył się tego prawa¹⁶⁰, wskazuje Wallace, gdyż wyjaśnia to inne oczywiste wpływy na Galileusza.

Matematyczny opis drogi w ruchu przyspieszonym był znany niemal 200 lat wcześniej, więc jest równie stary co wspomniane formy ilościowe, odkryte w XIV w. prawdopodobnie w czasach Buridana¹⁶¹. Na piśmie podaje go Nicole Oresme (w XIV w.), wraz z

¹⁵⁹(Wallace, *Domingo de Soto and the Early Galileo: Essays on Intellectual History*), s. 119

¹⁶⁰(Wallace, "Duhem and Koyré on Domingo de Soto")

¹⁶¹(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. xvi

geometrycznym dowodem poprawności, którego później użyje Galileusz. Kanonik z Rouen okazuje się wielkim innowatorem matematyki i fizyki. O ile wcześniej rozważano proste proporcje¹⁶² Oresme bada (i stosuje) potęgę o wymiernych wykładnikach. Obliczył także sumę szeregu geometrycznego i udowodnił, że szereg harmoniczny jest rozbieżny. Ilościowe intensywności form Oresme wyrażał w sposób geometryczny, na wykresach, tworząc to, co znamy jako kartezjański układ współrzędnych. Odkrył również fakt, że pole powierzchni pod wykresem szybkości jest drogą, na jakiej wykonano ruch¹⁶³: to znaczy odkrył on prymitywną formę całki Riemanna i jeszcze zastosował to do fizyki. W ten sposób właśnie Oresme udowadnia prawo, że droga w ruchu jednostajnie przyspieszonym równa jest połowie prędkości końcowej pomnożonej przez czas ruchu (albo prędkości średniej razy czas ruchu). Na Obrazie 3.6 widzimy jego oryginalny rysunek¹⁶⁴

Pole trapezu ABDC równa się polu ABGF. Wynika, że droga w ruchu przyspieszonym jest równa drodze pokonanej z prędkością średnią tego ruchu, w tym samym czasie. To samo Oresme stosuje do dowolnego natężenia formy:

Każda jakość, jeśli jest jednostajnie zmienna, ma tę samą ilość, jakby była niezmienną jakością tego samego podmiotu, według punktu środkowego tego podmiotu.

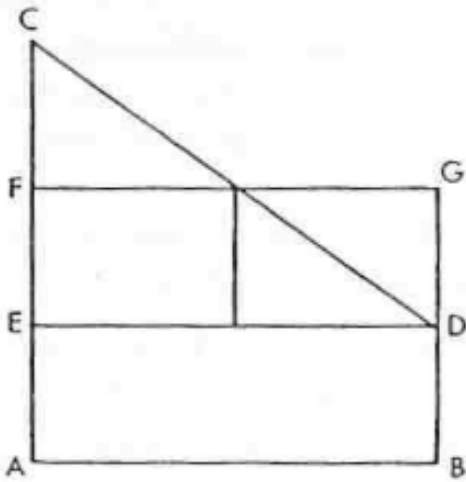
Tego typu analizy wykraczają poza kinematykę. Oto inna ciekawa demonstracja¹⁶⁵ na Obrazie 2: Każdy kolejny prostokąt jest wyższy o 1 i dwa razy węższy, co można przepisać jako sumę: $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots$. To jest suma szeregu geometrycznego i wynosi ona 2, co Oresme udowadnia składając powyższe prostokąty w jeden. Ta

¹⁶²(Babb, "Mathematical Concepts and Proofs from Nicole Oresme: Using the History of Calculus to Teach Mathematics"), s. 4

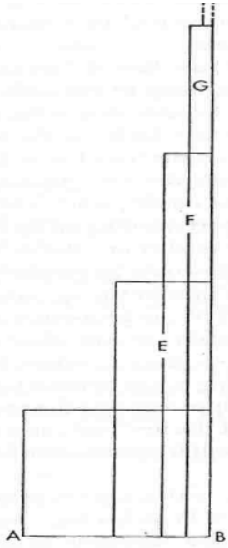
¹⁶³(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 284 —nie dał jednak dowodu, prawdopodobnie uważał to za oczywistość.

¹⁶⁴(Mumford, *Course notes from "Math for non-math majors on Brown University*), s. 7

¹⁶⁵(tamże), s. 7



Rysunek 1: Demonstracja drogi w ruchu przyspieszonym.



Rysunek 2: Oresme bada całkę niewłaściwą.

suma jest Oresme potrzebna by obliczyć całkę niewłaściwą, w nowoczesnej notacji byłoby to pewnie $\int_{-1}^0 \log_2 \frac{-1}{x} + \frac{1}{2} dx$. Jeśli obrócimy ten wykres o 90 stopni, to otrzymujemy wykres słupkowy funkcji $x = 2^{-y+0.5}$. Rozwijając ze względu na y , dostajemy $y = \log_2 \frac{-1}{x} + \frac{1}{2}$. Obliczenie całki numerycznie daje nam 1.94, o 0.06 mniej niż wynik Oresme.

Podobną "całkę niewłaściwą" (albo szereg) Oresme liczy w zastosowaniu do kinematyki¹⁶⁶, demonstrując możliwość radzenia sobie z niektórymi zagadnieniami ruchu niejednostajnie przyspieszonego. Wyobraźmy sobie ruch o długości 1 godziny. Przez pół czasu ciało poruszało się z prędkością v , potem przez $\frac{1}{4}$ czasu z prędkością $2v$, potem przez $\frac{1}{8}$ czasu z prędkością $3v$, potem przez $\frac{1}{8}$ czasu z prędkością $4v$ i tak dalej, ciągle zwiększając prędkość. Oresme demonstruje, że przez pierwsze pół godziny ciało pokona drogę 3 razy mniejszą, niż w drugiej połowie.

Przytoczmy tu dyskusję Oresme o konstrukcji tychże wykresów¹⁶⁷, która jest naturalnym rozszerzeniem doktryny o natężeniu form z Sekcji 3.2:

Za wyjątkiem liczb, każdą mierzalną rzecz trzeba wyobrazić jako wielkość ciągłą. By ją zmierzyć należy wyobrazić sobie punkty, powierzchnie, linie; według opinii Arystotelesa w tych rzeczach miara i proporcja jest obecna od razu; w innych obiektach miara i proporcja jest znana tylko przez analogię, na tyle jak rozum porównuje te obiekty do nich... Więc, każde natężenie, którą nabywa się sukcesywnie można wyobrazić sobie jako prostą, pionową linię z każdego punktu przestrzeni, albo obiektu, która wpływa na natężenie. Jakakolwiek by była proporcja dwóch natężeń tego samego rodzaju, podobna proporcja musi być między odpowiadającymi im liniami i w drugą stronę tak samo.

¹⁶⁶(Pierre Duhem i Aversa, *Galileo's Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*), s. 284

¹⁶⁷(tamże), s. 273-274

To znaczy, mając pewną zmienną (intensywność, natężenie) rysujemy wykres słupkowy, względem innej wartości ciągłej (np. przedziału czasu). W ten sposób na osi pionowej mamy natężenie formy, a na poziomej parametr. Proporcje wysokości słupków odpowiadają proporcjom natężenia tej samej formy.

[natężenia mogą być] reprezentowane przez proste linie przypisane do podmiotu i wzniesione pionowo w różnych punktach. Rozważanie tych linii pomaga i naturalnie prowadzi do znajomości natężenia. Równe linie reprezentują równe natężenia, dwa razy większa linia reprezentuje dwa razy większe natężenie i tak dalej, zawsze zachowując proporcję. I ta reprezentacja może być uogólniona uniwersalnie na każde natężenie, jakie można sobie wyobrazić

Tak oto powstał aparat geometryczny, który będzie kluczowy dla fizyki do końca XVII w. Najwybitniejszym przykładem dzieła opierającego się w większości na dowodach geometrycznych są słynne “Principia” Newtona.

3.7 Porządek świata u Newtona i Eulera

Do tej pory na poparcie tezy o istnieniu zrozumiałego porządku świata zacytowałem fragmenty Buridana, Oresme i paru innych scholastyków, a także fragmenty Biblii. Nigdzie nie była tak podkreślana, jak u naszego kolejnego autora. Jest nim Isaac Newton, który pod koniec “Matematycznych Zasad Filozofii Naturalnej” (Principia) wstawił esej “Objaśnienia Ogólne”. Newton uznaje klasyfikację obserwacji wraz z poznaniem przyczyny celowej za przedmiot swojej filozofii naturalnej, odsuwając zarazem przyczyny sprawcze. To w praktyce daje podobną metodę naukową do tej, którą opisaliśmy, co pozwala zaliczyć Newtona do jej wybitnych prekursorów.

Oto co pisze¹⁶⁸:

¹⁶⁸(Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated by A. Motte), s. 960-961

...planety i komety ciągle będą się poruszać po zadanych orbitach (...) według praw wyżej wyjaśnionych; ale o ile wystarczą prawa grawitacji, by ciała mogły się utrzymać w orbitach, nie mogłyby w żaden sposób mieć tak regularnego ruchu od początku przez tylko wpływ tych praw. (...) Dziesięć księżyców obiega Ziemię, Jowisza i Saturna po kołach koncentrycznych z nimi, w tym samym kierunku i niemal w płaszczyznach orbit tych planet; ale nie należy myśleć, że to jedynie mechaniczne przyczyny mogły zrodzić tyle regularnych ruchów, gdyż komety [poruszają się po] bardzo ekscentrycznych orbitach; przez ten rodzaj ruchu poruszają się bardzo łatwo przez sfery planet i z wielką prędkością; a w swoim aphelium, gdzie poruszają się najwolniej i przebywają najdłużej oddalają się na wielką odległość, doznając najmniej zaburzeń z wzajemnego przyciągania.

Po pierwsze Newton zdaje się kontynuować krytykę teorii Kartezjusza, którą zaczął nieco wyżej. Teoria wirów Kartezjusza miała dostarczyć mechanicznych wyjaśnień systemowi Kopernika, gdzie planety poruszają się po kołach z epicyklami. Więc wokół Słońca istnieje ma wielki wir, który niesie ze sobą wszystkie planety. Na orbitach tychże planet są jeszcze małe wiry, które odpowiadają epicyklom. Oprócz innych problemów, Newton wskazuje, że nie sposób wyjaśnić, jak komety mogłyby przelatywać przez układ z wielką prędkością w takim systemie wirów (podczas gdy jego teoria może to zrobić).

Po drugie, Newton dyskutuje przyczyny: przyczyny mechaniczne (sprawcze) nie wystarczą, by wyjaśnić postać Układu Słonecznego (czym także interesował się Kartezjusz ze swoją filozofią mechaniczną). Newton podał prawa ruchu i grawitacji, ale oprócz praw, by opisać system, konieczne są warunki początkowe (masy, pozycje i prędkości planet itd.). Prawa Newtona mogą opisać więc wiele możliwych układów: niektóre regularne, inne chaotyczne (np. układ 3 równych ciał). W niektórych układach planety prędko wpadną na siebie w kosmicznej katastrofie, a w innych po prostu odlecą w mię-

dzygwiezdną pustkę.

Ten najpiękniejszy układ słońca, planet i komet mógłby powstać tylko z rady i władzy inteligentnego i potężnego Bytu. A jeśli gwiazdy stałe są środkami innych podobnych układów, te, uformowane z podobnej mądrej rady, muszą być poddane władzy Jedyne; szczególnie, że światło gwiazd stałych jest tej samej natury, co światło słońca, i z każdego układu światło przechodzi do innych układów; a by te systemy nie spadły na siebie wzajemnie przez swoją grawitację, ustawił je w ogromnej odległości od siebie. Ten Byt rządzi wszystkim, nie jako dusza świata, ale jako Pan nad wszystkim; a ze względu na swoją władzę, przyjęło się nazywać Pana Boga *pantokrator*, albo Pan Wszystkiego; bo Bóg jest słowem relatywnym, odnoszącym się do sług. Najwyższy Bóg jest Bytem wiecznym, nieskończonym absolutnie doskonałym, ale byt, jakkolwiek doskonały, bez panowania nie może być zwany Panem Bogiem; (...) I z Jego prawdziwego panowania wynika, że prawdziwy Bóg jest żyjącym, inteligentnym i potężnym Bytem.

Wygląda to na traktat o teologii: ale tytuł “Objaśnienia Ogólne” i reszta treści eseju na nic podobnego nie wskazuje, i też nietrudno zrozumieć argument. Świat jest uporządkowany w sposób zrozumiały i finezyjny. Parametry wydają się inteligentnie dostrojone: gdyby systemy gwiazdne były blisko siebie wszystko mogłoby dość szybko zlepić się w jedną masę, pod wpływem grawitacji. Fakt, że światło gwiazd z odległego kosmosu jest takie samo, sugeruje, że prawa fizyki są takie same wszędzie we Wszechświecie. Bóg rządzi wszystkim “nie jako dusza świata” — jak to uważali filozofie greccy, ale pantokrator — panując nad światem spoza świata. Newton nieco dalej pisze następująco¹⁶⁹:

¹⁶⁹(Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated by A. Motte), s. 963-964

Znany Go przez Jego najmądrzejsze i najwspanialsze wynalazki, i przyczyny celowe: podziwiamy go za jego perfekcję; ale czcimy Go i wielbimy przez wzgląd na jego panowanie, bo Bóg bez panowania, opatrności i przyczyn celowych, nie jest niczym innym, niż Losem i Naturą. Ślepą metafizyczną koniecznością, która z pewnością jest taka sama zawsze i wszędzie i nie może stworzyć różnorodności rzeczy. Cała ta różnorodność rzeczy naturalnych, które uważamy za odpowiednie na różne czasy i miejsca, nie mogła powstać inaczej, niż z myśli i woli Bytu, który koniecznie istnieje. (...) A więc tyle o Bogu; o którym dyskusja w oparciu o wrażenia zmysłowe z pewnością należy do Filozofii Naturalnej”

Wszechświat ma przyczyny celowe, ale inaczej, niż u Arystotelesa. Z jednej strony istnieje bowiem wielka różnorodność rzeczy stworzonych, co wskazuje na kreatywność i inteligencję procesu stwórczego. Plan taki realizuje jedną z niezliczonych możliwych konfiguracji: już sama zmiana parametrów takich jak prędkość światła, czy rozkład gwiazd i planet dałaby zupełnie inny wszechświat. Z drugiej strony istnieje też rodzaj porządku celowego — wszechświat dla Newtona jest piękny w swojej finezji. Taki obraz świata narzuca konkretną strategię postępowania: uczoney może *oczekiwać* stałego, uniwersalnego porządku świata (o czym za chwilę). O tym, że “Objaśnienia Ogólne” są esejem metodologicznym przekonuje nas kolejny paragraf. Bo wyłożywszy elementy Tezy 1.1, Newton natychmiast przechodzi do tezy o przygodności wyjaśnień i przyczyn¹⁷⁰:

Do tej pory wyjaśniliśmy zjawiska niebios i naszego morza mocą grawitacji, ale nie przypisaliliśmy tej mocy przyczyny. To jest pewne, że musi pochodzić z przyczyny która przebija się do samego środka Słońca i planet, nie tracąc nic ze swojej siły; że operuje nie według ilości po-

¹⁷⁰(Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated by A. Motte), s. 964

wierzchni cząstek na które działa (jak mechaniczne przyczyny), ale według ilości stałej materii, którą zawierają, i że propaguje się we wszystkie strony na ogromne odległości, zawsze zmniejszając się w podwójnej proporcji odległości. (...) Ale do tej pory nie byłem w stanie odkryć przyczyny tych własności grawitacji ze zjawisk i nie stawiam hipotez; bo czego się nie da wydedukować ze zjawisk to nazywamy hipotezą; a hipotezy, czy to metafizyczne, czy fizyczne, czy własności ukrytych czy mechanicznych nie mają miejsca w filozofii doświadczalnej. W tej filozofii szczegółowe tezy są wnioskami ze zjawisk i następnie są uogólnione przez indukcję. Tak więc nieprzenikalność, ruchomość i siła impulsywna ciał i prawa ruchu i prawa grawitacji zostały odkryte. Dla nas więc wystarczy, że grawitacja naprawdę istnieje i działa według praw, które wyjaśniliśmy, i szczerze uwzględnia wszystkie ruchy ciał niebieskich i naszego morza.

Newton oddziela to, co wiemy na temat grawitacji: część klasyfikacyjną teorii, od tego, czego nie wiemy: przyczyn sprawczych grawitacji. Znamy *własności*: siła działająca na odległość, proporcjonalnie do wielkości masy i odwrotnie proporcjonalnie do odległości. To, czego nie możemy podobnie wykazać nie ma miejsca w filozofii eksperymentalnej.

Newton mówi o “wnioskach ze zjawisk” i o “indukcji”, co różnie interpretowano. Jedna obiegowa opinia jest taka, że Newton stosuje indukcję według przepisu Francisa Bacona, ale w “Principiach” nie ma po tym śladu. Inni (Duhem, Lakatos) argumentowali, że metoda Newtona jest hipotetyczno-dedukcyjna: zapostulował on pewną teorię, która odtwarzała znane fakty i przetestował ją przez dokładne predykcje. To jest o wiele bliższe prawdy.

Skąd jednak słowo ”indukcja”? W kontekście powyższego eseju widać, że rozumowanie o indukcji podobne jak u Arystotelesa (którego Newton niewątpliwie studiował) bardzo dobrze tu pasuje; nawet dyskutuje się tutaj przyczyny celowe i sprawcze. Widzieliśmy,

że Arystoteles zaczął od problemu ”jak dostać niezmienną i pewną wiedzę o świecie“. Świat zmienia się, ale zarazem widać niezbitcie pewną organizację: pytanie co to jest, i jak poznać sedno tego czegoś. Arystoteles mówi, że to jest porządek celowy: ludzie, zwierzęta, kamienie, Ziemia itd mają stałe zasady przemiany (natury), i możemy poznać jak one działają przez obserwację: nasze zmysły bowiem odkrywają bazowe jednostki tej organizacji i relacje między obiektami. Musimy więc najpierw spojrzeć szeroko i nakreślić projekt, po to by zacząć go budować w szczegółach. U Newtona jest podobnie, ale z pewnymi zmianami: przyczyną celową nie jest już ”duszą świata“, Świat jest uporządkowany na sposób zegarka puszczanego w ruch, według raz ustalonych zasad. Przyczyny sprawcze zaś nie są dostępne w wypadku grawitacji, ale możemy poznać abstrakcyjny porządek, który pozwala nam obliczyć dokładne predykcje. Einstein trafnie napisał, że¹⁷¹ ”sukces takiego projektu” jak fizyka Newtona ”zakłada wysoki stopień uporządkowanie obiektywnego świata“. Tak, dokładnie. Newton bardzo dobrze wiedział, czego szukał. Podobnie o indukcji myślą niektórzy filozofowie pozytywistyczni XX w.¹⁷², indukcja może znaleźć porządek świata, o ile porządek ten, w zadanej postaci istnieje. Kwestią kluczową jest więc to, czy on istnieje, i jaki on jest.

W podobnie przychylnym tonie o uporządkowaniu świata jako przyczynie celowej wypowiadają się Euler i Maupertuis, autorzy jednego z najbardziej oszałamiających odkryć z fizyki: zasady wariacyjnej. Pamiętamy, że stosując opis według praw Newtona rozważamy układ w chwili czasu: chcąc obliczyć ruch planetoidy wokół Słońca, w każdym punkcie toru tego ruchu obliczamy wektor przyspieszenia a : $m\vec{a}(\vec{r}) = \vec{F}_S + \vec{F}_j + \dots$ gdzie kolejne człony po prawej to wpływy pól grawitacyjnych Słońca, Jowisza i innych istotnych ciał. Tor ruchu wynika z tej właśnie wielkości obliczonej w każdej kolejnej chwili. Nie ma tak, że ciało leci ”dokądś“, jak w wypadku miejsca naturalnego arystotelików: to stan chwilowy zawiera w sobie wszystkie

¹⁷¹(Einstein, *Preface to Galileo's "Dialogue Concerning Two Chief World Systems"*)

¹⁷²(Henderson, "The Problem of Induction"), s. 5.3

istotne informacje.

Okazuje się, że można podejść do sprawy inaczej. Wyobraźmy sobie, że nasza planetoida podąża po dowolnym torze ruchu $x(t)$ w przestrzeni. Niektóre z wymyślonych torów będą rzeczywistymi torami ruchu swobodnego, inne zaś nie (ewentualnie torami jakiegoś futurystycznego wehikułu). Czy jest coś, co odróżnia rzeczywisty tor ruchu od wymyślonego — jakaś specjalna cecha, którą natura "preferuje"? Okazuje się, że tak: możemy scałkować pewną funkcję skalarną (zwaną działaniem) po tym torze ruchu, i jeśli tor ruchu jest rzeczywisty, to wynik będzie wielkością ekstremalną. To właśnie zasada najmniejszego działania, albo zasada wariacyjna. Co to jest "działanie"? Zależy. W mechanice klasycznej jest to różnica energii kinetycznej i potencjalnej — taka definicja pozwala wyprowadzić równania dynamiki Newtona. Ale powyższa zasada działa też dla innych teorii: od XVII znano zasadę Fermata, według której promień świetlny porusza się po drodze takiej, że czas podróży jest najkrótszy. Podobna zasada okazała się prawdziwa w Ogólnej Teorii Względności (tory ruchu ciał poruszających się swobodnie, geodezyjne czasowe, są takie, że upływ czasu właściwego jest lokalnie najdłuższy), a w zmodyfikowanej formie także w wielu innych gałęziach fizyki współczesnej. To ostatnie zaś jest wielkim zaskoczeniem i odwieczną zagadką. No i akurat Euler mniej więcej przewidział taki obrót wypadków w 1744¹⁷³

Wszyscy najwięksi matematycy od dawna uznali, że metoda zaprezentowana w tej księdze jest nie tylko bardzo użyteczna w analizie, ale także wiele pomaga w rozwiązaniu problemów fizycznych. Skoro bowiem tkanina wszechświata jest najdoskonalsza i jest dziełem najmądrzejszego Stwórcy, nic we wszechświecie nie dzieje się bez pojawienia się jakiejś relacji maksimum i minimum. To znaczy, że nie ma absolutnie żadnych wątpliwości, że każdy efekt we wszechświecie może być wyjaśniony tak

¹⁷³(Oldfather, Ellis i Brown, "Leonhard Euler's Elastic Curves"), s. 10

samo zadowalająco z przyczyn celowych, jak i z samych przyczyn sprawczych.

Istnieją z każdej strony tak znakomite przykłady tego faktu, że by udowodnić jego prawdę wcale nam nie trzeba wielu przykładów; nie, raczej zadaniem będzie to, aby, w dowolnej dziedzinie nauk przyrodniczych zbadać wielkość, która przyjmuje wartość minimalną albo maksymalną, zadanie które wydaje się należeć raczej do filozofii, niż matematyki. Zatem dwie metody studiowania Natury są nam dostępne, jedna przy pomocy przyczyn sprawczych na ogół zwana metodą bezpośrednią, inna przy pomocy przyczyn celowych, matematyk używa obu z równym powodzeniem. (...) Ale powinno się dodatkowo postarać, by zobaczyć, że obydwie metody pozwalają rozwiązać problem; gdyż nie tylko jedno rozwiązanie jest bardzo wzmocnione przez drugie, ale, nawet więcej, ze zgodności dwóch rozwiązań dostajemy zaiste najwyższą satysfakcję. Tak więc krzywizna wiszącej liny, albo łańcucha była obliczona dwiema metodami; najpierw, a priori, z przyciągania grawitacyjnego; a potem metodą maksimów i minimów, gdyż poznano, że lina powinna przyjąć krzywiznę taką, że środek masy jest jak najniżej. Podobnie krzywizna promieni przechodzących przez przezroczysty ośrodek o zmiennej gęstości została obliczona a priori, a także z zasady, że powinny one dolecieć do określonego punktu w najkrótszym czasie

W podobnym tonie wypowiadał się też Maupertuis, który jako pierwszy sformułował zasadę wariacyjną¹⁷⁴:

Prawa ruchu i spoczynku wydedukowane z tej zasady są dokładnie te same, jak te widziane w naturze, możemy podziwiać zastosowanie jej do wszystkich zjawisk. Ruch zwierząt, wegetacja roślin... są tylko jej wynikami i

¹⁷⁴(David, *Idle Theory*, cit. *Maupertuis. Oeuvres*.)

spektakl wszechświata staje się dużo wspanialszy i dużo piękniejszy, godniejszy swojego Autora, gdy wiemy, że mała liczba praw, najmądrzej ustalonych wystarczy na wszystkie ruchy.

Bibliografia

- Ainsworth, Thomas. “Form vs. Matter”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta. Summer 2020. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2020.
- Albert Einstein, M. Solovine. *A. Einstein, Letters to Solovine, translated by Wade Baskin, with an introduction by Maurice Solovine, p. 132-133*. Philosophical Library, 1987.
- Aristotle A.E. Taylor, W. Christ. *Aristotle on his predecessors; being the first book of his Metaphysics. Translated from the text ed. of W. Christ with introduction and notes by A.E. Taylor*. Red. A.E. Taylor. 1907.
- Arystoteles. *Aristotle in 23 Volumes, translated by H. Tredennick*. Red. Hugh Tredennick. 1933.
- *Metaphysics, translated by W. D. Ross*. Red. W. D. Ross. URL: <http://classics.mit.edu/Aristotle/metaphysics.9.ix.html>.
- *Zachęta do filozofii; Fizyka*. Red. tłum. K. Leśniak. Wydawnictwo naukowe PWN, 2010.
- Babb, Jeff. “Mathematical Concepts and Proofs from Nicole Oresme: Using the History of Calculus to Teach Mathematics”. W: *Science and Education* 14 (lip. 2005), s. 443–456. DOI: 10.1007/s11191-004-7937-y.
- Bodnar, Istvan. “Aristotle’s Natural Philosophy”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta i Uri Nodelman. Summer 2023. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2023.
- Broekaert, Jan. “A Spatially-VSL Gravity Model with 1-PN Limit of GRT”. W: *Foundations of Physics* 38.5 (lut. 2008), s. 409–435. DOI: 10.1007/s10701-008-9210-8. URL: <https://doi.org/10.1007/s10701-008-9210-8>.
- Cohen, S. M. *Lecture notes on History of Ancient Philosophy*. 2003. URL: <https://faculty.washington.edu/smcohen/320/320Lecture.html>.

- David, Chris. *Idle Theory, cit. Maupertuis. Oeuvres*. 1998. URL: <https://web.archive.org/web/20030511071911/http://www.idlex.freemove.co.uk/idle/evolution/ref/leactact.html>.
- Dugas, René. “La méthode physique au sens de Duhem devant la mécanique des quanta - translated by A. Aversa as Physical method according to Duhem in view of quantum mechanics”. W: *Revue générale des sciences pures et appliquées* 49 (1937), s. 68–71. URL: <http://www.u.arizona.edu/~aversa/>.
- Duhem, P. i R. Ariew. *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*. History and philosophy of science. University of Chicago Press, 1987. ISBN: 9780226169231.
- Duhem, Pierre. *The aim and structure of physical theory*. Princeton University Press, 1954.
- Duhem, Pierre i Alan Aversa. *Galileo’s Precursors: Translation of Studies on Leonardo da Vinci (vol. 3) by Pierre Duhem*. Czer. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.23235.71201/1.
- Duhem, Pierre M. *Le Systeme du Monde, t. 1*. PARIS LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN ET FILS, 1913.
- Einstein, Albert. *Preface to Galileo’s ”Dialogue Concerning Two Chief World Systems”*. University of California Press, 1967.
- Gwozdz, Thomas. “St Anselm’s Theory of Freedom.” W: *The Saint Anselm Journal* 7.1 (2009).
- Hackett, Jeremiah. “Roger Bacon”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta. Summer 2020. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2020.
- Henderson, Leah. “The Problem of Induction”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta i Uri Nodelman. Winter 2022. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2022.
- Howard, Don. “Einstein and Duhem”. W: *Synthese* 83.3 (czer. 1990), s. 363–384. ISSN: 1573-0964. DOI: 10.1007/BF00413422. URL: <https://doi.org/10.1007/BF00413422>.

- Jacek Lang, W. Sady. *O Parmenidesie, Fragment poematu Parmenidesa zachowany w dziele Simplikiosa*. <https://sady.up.krakow.pl/fil.parmenides.htm>.
- Jaki, Stanley L. *Science and Creation*. Scottish Academic Press, 1986.
- *The Relevance of Physics*. Edinburgh University Press, 1961.
- *Zbawca Nauki*. W drodze., 1994.
- João, Príncipe. “Poincaré and Duhem: Resonances in Their First Epistemological Reflections”. W: *Transversal: International Journal for the Historiography of Science* 2 (2017), s. 140. DOI: 10.24117/2526-2270.2017.i2.13.
- José, R. N. Chiappin i Laranjeiras Cássio Costa. “Duhem’s Critical Analysis of Mechanicism and His Defense of a Formal Conception of Theoretical Physics”. W: *Transversal: International Journal for the Historiography of Science* 2 (2017), s. 36. DOI: 10.24117/2526-2270.2017.i2.05.
- Ladyman, James. *Understanding Philosophy of Science*. Routledge, 2002. ISBN: 9780415221566.
- López Ruiz, Francisco Javier i Geoffrey Woollard. “Pierre Duhem and scientific truth: contextual, partial and real”. W: *Scientia et Fides* 4.2 (grud. 2016), s. 319–341. URL: <https://apcz.umk.pl/SetF/article/view/SetF.2016.032>.
- Maldacena, Juan. W: *International Journal of Theoretical Physics* 38.4 (1999), s. 1113–1133. DOI: 10.1023/a:1026654312961. URL: <https://doi.org/10.1023%2Fa%3A1026654312961>.
- McInerney, Ralph. *A First Glance at St. Thomas Aquinas: A Handbook for Peeping Thomists*. The University of Notre Dame, 1990.
- Meyer, Susan S. *Ancient Philosophy: Plato and his Predecessors*. Wykład z University of Pensylvania dostępny online <https://www.coursera.org/learn/plato/home/info>. 2023.
- Mumford, David. *Course notes from "Math for non-math majors" at Brown University*. 2006. URL: <https://www.dam.brown.edu/people/mumford/beyond/history.html>.
- Narlikar, J. V. i N. C. Rana. “Newtonian N-body calculations of the advance of Mercury’s perihelion”. W: *Monthly Notices of the*

- Royal Astronomical Society* 213.3 (kw. 1985), s. 657–663. ISSN: 0035-8711. DOI: 10.1093/mnras/213.3.657. eprint: <https://academic.oup.com/mnras/article-pdf/213/3/657/18521899/mnras213-0657.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/213.3.657>.
- Newton, Isaac. *Mathematical Principles of Natural Philosophy, translated by A. Motte*. DANIEL ADEE, 45 LIBERTY STREET, 1846.
- Oldfather, W. A., C. A. Ellis i Donald M. Brown. “Leonhard Euler’s Elastic Curves”. W: *Isis* 20.1 (1933), s. 72–160. ISSN: 00211753, 15456994. URL: <http://www.jstor.org/stable/224885> (term. wiz. 09.06.2023).
- Robinson, Howard. “Substance”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta. Fall 2021. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2021.
- Rovelli, Carlo. “Aristotle’s Physics: A Physicist’s Look”. W: *Journal of the American Philosophical Association* 1.1 (2015), s. 23–40.
- Shields, Christopher. “Aristotle”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta. Spring 2022. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2022.
- Silverman, Allan. “Plato’s Middle Period Metaphysics and Epistemology”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta i Uri Nodelman. Fall 2022. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2022.
- Św. Tomasz z Akwinu tłum. Z. Włodek, W. Zega. *Summa Contra Gentiles*. W drodze, 2007.
- Wallace, William. *Domingo de Soto and the Early Galileo: Essays on Intellectual History*. Routledge, 2018.
- “Duhem and Koyré on Domingo de Soto”. W: *Synthese* 83.2 (1990), s. 239–260. DOI: 10.1007/bf00413759.
- Windelbrand, Wilhelm. *History of Ancient Philosophy*. NEW YORK CHARLES SCRIBNER’S SONS, 1899.
- Zeyl, Donald i Barbara Sattler. “Plato’s Timaeus”. W: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Red. Edward N. Zalta. Summer 2022. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2022.