

Rozprawy

Maciej Gos

Koncepcja kosmologiczna Roberta Grosseteste'a
Jedna z pierwszych prób wyjaśniania zjawisk zachodzących
w przyrodzie w oparciu o kategorie ilościowe,
na tle współczesnych sobie i dzisiejszych
koncepcji kosmologicznych

Podstawowym problemem, jaki powstaje podczas badań nad koncepcją kosmologiczną Grosseteste'a jest fakt, że jego poglądy nigdy nie zostały przezeń usystematyzowane w jednym obszernym dziele na wzór późniejszych sum; filozofia przyrody i kosmologia oksfordzkiego uczonego przedstawione są w postaci fragmentów krótkich rozpraw poświęconych różnym podstawowym naukom szczegółowym, przede wszystkim optyce, geometrii i fizyce.

Fragmenty te tworzą w dużej mierze spójną całość opartą na kilku podstawowych zasadach fundujących kosmologię (czy ogólniej fizykę) Grosseteste'a. Intencją tej pracy jest próba wykazania zasadniczej zbieżności tych zasad z podstawowymi założeniami dzisiejszej fizyki matematycznej, jakkolwiek oczywiste jest, że episcopus Lincolniensis nie dysponował formalnym językiem, jakim dla fizyki stała się analiza matematyczna, umożliwiając empiryczną weryfikację opracowanego modelu matematycznego; stąd swoje hipotezy i ilościowe nawet interpretacje zjawisk zachodzących w przyrodzie musiał zapisywać w języku naturalnym, co oczywiście odróżnia je od paradygmatu przyrodoznawstwa po Newtonie. Paradygmat ten wykształcał się jednak etapami w ciągu stuleci, intencją naszą będzie zaś wykazanie roli oksfordzkiego uczonego w jego powstawaniu.

Tym, co stanowi wyróżnik kosmologii i fizyki Grosseteste'a pozwalający łatwo ukazać ich oryginalność na tle rozważań współczesnych mu autorów, jest bardzo duży nacisk, jaki Grosseteste kładł na te dziedziny, jak również oryginalne uzupełnienie kosmologii Arystotelesa, której recepcja przez chrześcijańską filozofię europejską nastąpiła właśnie w tych czasach za pośrednictwem Arabów, głównie Awerroesa i Awicenny. Kosmologia Arystotelesa stanowi zaś pewien domknięty system pojęciowy oparty na jego fizyce, dla której znamienne było przyjęcie absolutnego spoczynku i naturalnego miejsca spoczynku jako wyróżnionego układu odniesienia i — rekonstruując dynamikę Arystotelesa w dzisiej-

szych terminach — rozważanie czasoprzestrzeni jako iloczynu kartezjańskiego trójwymiarowej przestrzeni euklidesowej i czasu¹. W oparciu o taką dynamikę Arystoteles stworzył geocentryczną kosmologię, w której wszechświat stanowił układ koncentrycznych sfer stanowiących więzy wyznaczające ruch ciał niebieskich. Taka właśnie kosmologia była powszechnie, wręcz dogmatycznie uznawana we wczesnoscholastycznej filozofii. Dla Grosseteste’a ten arystotelesowski obraz świata również nie podlegał kwestionowaniu, o czym świadczą zarówno jego komentarze do *Fizyki* Arystotelesa jak i najważniejsze dzieło Grosseteste’a poświęcone kosmologii — rozprawa *O świetle czyli o pochodzeniu form*. W rozprawie tej Grosseteste przedstawia jednak niezwykle oryginalną na owe czasy kosmogonię, której istotą jest dynamiczne ujęcie wszechświata jako procesu ekspansji, wraz z próbą uzasadnienia takiego ujęcia przy użyciu pojęciowości analizy matematycznej (porównywania sum szeregów nieskończonych i nadawaniu im fizycznej interpretacji). Wszechświat kosmologii Arystotelesa stanowiący zamknięty i statyczny układ był w interpretacji Grosseteste’a zakończeniem procesu ekspansji, której przebieg według oksfordzkiego uczonego był następujący. Bóg u początku czasu stworzył punkt świetlny, będący formą substancjalną materii pierwszej, która istnieje wiecznie i sama jest czystą receptywnością. Dynamiczna natura światła sprawiła, że momentalnie (*subito*) rozpoczęła się ekspansja sferyczna światła, które pociągając za sobą materię utworzyło przestrzeń. Tak właśnie powstał kulisty świat złożony z kolejnych koncentrycznych sfer, to jest świat zgodny z klasyczną metafizyką i kosmologią Arystotelesa.

Przytoczmy zatem w całości niedługi fragment tekstu Grosseteste’a, będący w istocie kluczem do zrozumienia całej koncepcji kosmologicznej oksfordzkiego uczonego: „Światło zatem jako pierwsza forma stworzona w materii pierwszej, pomnażając się ze swej natury nieskończoną ilość razy na wszystkie strony i rozprzestrzeniając się równomiernie we wszystkich kierunkach, rozciągało wraz ze sobą materię, której porzucić nie mogło i w zaraniu czasu rozprzestrzeniło ją w taką masę, jaką dziś ma wszechświat. I nie mogło się dokonać rozciąganie materii za pośrednictwem skończonego pomnażania się światła, ponieważ mnożenie skończoną ilość razy tego, co proste, nie powoduje — jak wykazuje Arystoteles w *O niebie i świecie* — powstawania wielkości. To, co proste, pomnożone nieskończoną ilość razy musi dać w wyniku skończoną wielkość, ponieważ wynik powstały z nieskończonego mnożenia czegoś przekracza nieskończenie właśnie to, z czego pomnożenia sam powstał. W każdym razie coś, co proste, nie może nieskończenie przekraczać tego, co proste, ale może to czynić wyłącznie wielkość skończona”².

¹ Rekonstrukcję dynamiki i modelu stowarzyszonej z nią czasoprzestrzeni fizyki Arystotelesa w kategoriach współczesnej matematyki przeprowadza M. Heller w: *Fizyka ruchu i czasoprzestrzeni*, Warszawa 1993, s. 25–34.

² *O świetle*, w: M. Boczar, *Robert Grosseteste*, Warszawa 1994, s. 133.

Drugie (poza perypatetyckim) uzasadnienie ilościowe, za pomocą którego tłumaczy Grosseteste powstanie skończonego kulistego świata z punktu świetlnego, opiera się na porównaniu stosunku dwóch wielkości nieskończenie wielkich, a konkretnie dwóch sum szeregów rozbieżnych. I tu znów oddajmy głos oksfordzkiemu uczonemu: „Okazuje się więc możliwe, by między jednym a drugim nieskończonym szeregiem liczb zachodziła proporcja wyrażana każdą liczbą, zarówno wymierną (*numerales*), jak i niewymierną (*non numerales*)”³. Pierwszy z szeregów nieskończonych oznacza tu działanie światła — nieskończone samopomnażanie, drugi zaś objętość powstającej materii. Oba szeregi są rozbieżne, a stosunek (proporcja) ich nieskończonych sum wyraża się dowolną liczbą wymierną lub niewymierną. Liczba ta jest miarą powstającej rozciągłości — skończoną, gdyż powstający kulisty świat jest skończony i stabilny. O ile więc pierwsze uzasadnienie kosmologii Grosseteste'a odwołuje się do nieskończonego mnożenia tego, co proste, o tyle drugie wnioskowanie polega na porównaniu dwu wielkości nieskończenie wielkich. Dla dzisiejszego komentatora traktatu *De Luce* ważna jest także informacja o rozkładzie materii w owym kulistym świecie: jej gęstość wewnątrz świata jest największa i maleje asymptotycznie wzdłuż promienia świata ku jego kresowi. Rozkład materii jest zarazem kulistosymetryczny. Powiada bowiem Grosseteste: „Wracając do tego, co powiedziałem, że światło poprzez nieskończone samopomnażanie, promieniujące jednakowo we wszystkich kierunkach, rozprzestrzenia materię równomiernie i kulisto na wszystkie strony, to z zasady tego rozprzestrzeniania wynika, iż zewnętrzne części materii zostają bardziej rozciągnięte i w większym stopniu rozrzedzone niż wewnętrzne, bliższe centrum. Dlatego podczas gdy części zewnętrzne zostaną już rozrzedzone w stopniu najwyższym, części wewnętrzne nadal będą podatne na większe jeszcze rozrzedzenie”⁴. Dwudziestowieczni komentatorzy Grosseteste'a najbardziej interesowali się fragmentem *De luce* odnoszącym się do szeregów nieskończonych i proporcji między nimi, wyrażających się liczbą rzeczywistą⁵.

³ Tamże, s. 133.

⁴ Tamże, s. 135.

⁵ I tak, znakomity polski mediewista, A. Birkenmajer, *Robert Grosseteste and Richard Furnival w: Studia Copernicana*, I, Wrocław 1970, s. 219 przyp. 15, używając współczesnej notacji stosowanej w teorii szeregów nieskończonych twierdzi, że przy założeniu, że znak $\sum$ oznacza sumowanie wyrazów szeregu od 1 do ∞ , tezę podstawową Grosseteste'a zapisać można:

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n : \sum_{n=1}^{\infty} b_n = \text{const.} : \text{const.} \in \mathbb{R} \quad (1)$$

gdzie const. jest dowolną liczbą wymierną lub niewymierną. Liczbą niewymierną wyrazi się iloraz dwu szeregów nieskończonych, wtedy i tylko wtedy, gdy przyjmie on postać:

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n : \sum_{n=1}^{\infty} n - a : a \in \mathbb{R} \quad (2)$$

Droga interpretacyjna, którą pójdziemy w niniejszej pracy, będzie nieco inna. Pozostawimy bowiem na uboczu kwestie metafizyczne wywodzące się z tradycji Arystotelesa (jak problem pierwszego poruszyciela, czy pojęcia „*primae materiae*”) i spróbujemy wydobyć te założenia matematyczne, które stanowią o oryginalności kosmologii Grosseteste’a i jej podobieństwie do pewnych założeń współczesnej fizyki i kosmologii, i które stanowią próbę jej uzasadnienia. Nie jest to zadaniem łatwym ponieważ oksfordzki badacz swoje genialne intuicje wyraził w języku naturalnym. Matematyka bowiem, rozumiana jako pismo i język, znajdowała się podówczas na takim stopniu rozwoju, który nie pozwalał na precyzyjne sformułowania jego idei, antycypujących pewne teorie z różnych działów matematyki: analizy, teorii mnogości i teorii miary. Próba sformułowania konkretnego zapisu funkcji, czy twierdzeń, które miałyby określać świat przedstawiony przez Grosseteste’a okazuje się dość trudna z uwagi na to, że intuicje matematyczne wyrażone przezeń w *De luce* mają charakter bardzo ogólny i nie do końca jasny. Zasadniczą kwestią będzie więc nie tyle problem interpretacji intuicji mistrza Roberta, co kwestia przekładu jego wywodów z języka naturalnego na

gdzie a może być równe 1, ale może być też równe dowolnej liczbie skończonej rzeczywistej.

A oto kolejne formalizacje tez Grosseteste’a zapisane przez A. Birkenmajera:

$$\sum_{n=1}^{\infty} 2n = 2 \sum_{n=1}^{\infty} n \quad \text{oraz} \quad \sum_{n=1}^{\infty} 3n = 3 \sum_{n=1}^{\infty} n \quad (3)$$

oraz

$$\sum_{n=1}^{\infty} n > \sum_{n=1}^{\infty} 2n \Leftrightarrow \sum_{n=1}^{\infty} n - \sum_{n=1}^{\infty} 2n = \sum_{n=1}^{\infty} (2n - 1) \quad (4)$$

Inną interpretację, mającą charakter modelu fizycznego podał CH.K. McKeon (*A study of the Summa Philosophiae of the Pseudo-Grosseteste*, New York 1948, s. 162, przyp. 39). Zapisał dwa wyrażenia zwane przez niego funkcjami. Pierwsze z nich przyjęło postać $l = 2^{v-1}$ (5), drugie zaś: $l = 2^2 \times (v-1)$ (6). W wyrażeniach tych zmienna v oznaczać ma wedle Autora objętość powstającej materii, zaś zmienna l potencjał twórczy światła. Przy czym zmienna v przebiegać ma cały zbiór liczb naturalnych N poczynając od 1. (Niezbyt wyraźna edycja tekstu McKeona pozwala domniemywać, iż być może po lewej stronie obu podanych wyżej równości nie stoi zmienna l lecz liczba 1.) Intuicję Roberta Grosseteste’a zawartą w opisie skończonej proporcji między sumami nieskończonych szeregów, która to proporcja wyrażać miała miarę powstającej rozciągłości, próbował również sformalizować S. Świeżawski (dz. cyt., s. 288, przyp. 3). Wedle niego rozciąganie się materii można przedstawić w następującym szeregu:

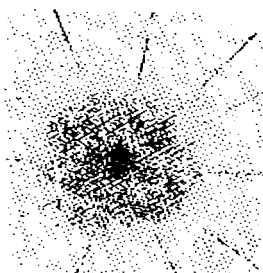
In dimensionem monocubitam	1^3	2^3	3^3
In dimensionem bicubitam	2×1^3	2×2^3	2×3^3 (7)
In dimensionem tetracubitam	4×1^3	4×2^3	4×3^3

„Dimensio monocubita” jest tu oczywiście rozumiana jako jednostkowa miara powstającej rozciągłości. „Dimensio” oznacza bowiem u Grosseteste’a miarę, rozmiar powstającej rozciągłości, nie zaś wymiar w sensie topologicznym. Topologicznie świat taki jest oczywiście rozciągłością skończoną, trójwymiarową.

język współczesnej matematyki. Interpretację fizyczną tych intuicji stanowi model świata przedstawiony poniżej. W naszym bowiem przekonaniu to właśnie zapis w języku dzisiejszej matematyki może najpełniej ukazać uniwersalność i prekursorstwo idei trzynastowiecznego myśliciela, a zarazem wyjaśnić, dlaczego Robert Grosseteste budzi wciąż zainteresowanie jako uczony. Seminaria poświęcone jego naukowemu dziełu odbywają się często na uniwersyteckich wydziałach filozofii i fizyki, podczas gdy większość prac przyrodznawczych uczonych tamtej epoki ma już jedynie wartość historyczną. Na podobieństwo kosmogonii Grosseteste'a i podstawowej tezy teorii wielkiego wybuchu zwrócił uwagę S. Swieżawski już w latach 60-tych⁶.

I. Ujęcie formalne modelu kosmologicznego zawartego w *De luce*

Modelem fizycznym kosmogonii Grosseteste'a jest świat kulistosymetryczny o nierównomiernym rozkładzie gęstości materii σ_m — która jest większa w obszarach wewnętrznych i dlatego tam jej zmniejszanie się jest jeszcze możliwe, zaś w warstwach zewnętrznych, czyli w sferze I, gęstość materii maleje asymptotycznie do zera, gdyż zewnętrzna część sfery — firmament — jest już ciałem prostym, pierwszą materią zaktualizowaną wyłącznie przez formę pierwszą. Materię zaktualizowaną tylko przez pierwszą formę utożsamimy z przestrzenią, w której gęstość materii maleje asymptotycznie do zera. Taki zaś kulistosymetryczny świat opisywałby model matematyczny uwzględniający gęstość materii (masy) malejącą równomiernie i monotonicznie w kierunku od środka kuli ku zewnątrz wzdłuż jej dowolnego promienia (co wynika z tego, że światło ekspandując rozciągało materię równomiernie i kulistosymetrycznie we wszystkich kierunkach).



Wykres 1.

Obszarom mocniej zacieniowanym odpowiada największa gęstość masy σ_m . Rozkład linii pola symbolizuje kulistą symetrię świata opisywanego przez Grosseteste'a.

⁶ Stefan Swieżawski, *Robert Grosseteste, filozof przyrody i uczony*, w: *Charisteria. W. Tatarkiewiczowi w darze*, Warszawa 1960, s. 12.

Za szczególnie interesujące i nowatorskie należy uznać zawarte w dwóch traktatach poświęconych szczegółowym zagadnieniom optyki sformułowania, które wyrażają jedną z pierwszych naturalnych intuicji zasady wariacyjnej w mechanice. Oksfordzki uczony pisze bowiem w traktacie *O liniach, kątach i figurach*, że: „ponieważ natura działa w sposób najbardziej zwężły, dlatego też i lepiej działa wzdłuż linii prostej”⁷, oraz jeszcze dobitniej w dziełku zatytułowanym *O tęczy*, iż „wszelkie działanie z natury odbywa się, jak to tylko możliwe, w sposób najbardziej pełny, ze wszechmiar uporządkowany, najkrótszy i najlepszy”⁸. Zwłaszcza te ostatnie określenia stanowią intuicyjną antycypację podstawowej zasady fizyki nowożytnej, tj. zasady wariacyjnej, która to zasada znalazła matematyczną podbudowę w rachunku wariacyjnym.

Kwestia stabilności świata w modelu kosmologicznym Grosseteste’a nie jest do końca jasna. Z jednej strony bowiem jest to świat fizyki Arystotelesa, a więc kulisty, stabilny i o skończonym promieniu, z drugiej jednak strony fragment mówiący o większej gęstości materii wewnątrz kulistego świata i co za tym idzie — możliwości dalszego jej rozrzedzania, sugeruje być może proces polegający na dążeniu do równomiernego rozkładu gęstości materii σ_m wewnątrz całego świata.

*

Przytoczone na wstępie dwa fragmenty *De luce*, uzasadniające w sposób ilościowy możliwość kreacji skończonego świata z punktu świetlnego, zawierają rozumowanie, które opiera całą koncepcję kosmologiczną Grosseteste’a na dwóch założeniach matematycznych. Założenia te zostały sformułowane przez trzynastowiecznego myśliciela w języku naturalnym, oczywiście pozbawionym klarownych pojęć granicy ciągu, szeregu, rzędu wielkości nieskończenie małej, nieskończenie wielkiej, które w postaci formalnej pojawiły się w stosownych zapisach i dowodach dopiero w XVII i XVIII stuleciu.

Pierwsze z owych założeń, z których Grosseteste wyprowadza możliwość powstania skończonego świata z punktu świetlnego, jest genialną intuicją analityczną dotyczącą możliwości zbieżności wyrażen nieoznaczonych postaci $0 \times \infty$. Jeśli to, co proste, czyli punkt świetlny utożsamimy z wielkością nieskończenie małą, początkową osobliwością modelu kosmologicznego, nieskończone zaś mnożenie tego, co proste utożsamimy z granicą iloczynu nieskończenie małej i nieskończenie wielkiej, wówczas analityczna intuicja Grosseteste’a daje się odczytać następująco: jest możliwe że:

$$\lim_{\substack{f(x) \rightarrow 0 \\ g(x) \rightarrow \infty}} f(x) \times g(x) = \text{const.}$$

⁷ *O liniach, kątach i figurach*, w: Mieczysław Boczar, dz. cyt. s. 141.

⁸ *O tęczy*, w: Mieczysław Boczar, dz. cyt., s. 150.

Oczywiście formalnie możliwości takiego przejścia granicznego dowodzi dopiero reguła De l'Hospitala, ale rozumowanie Grosseteste'a można uznać za bardzo wczesną, naturalną intuicję takiego przejścia.

Druga niemniej ważna intuicja analityczna Grosseteste'a dotyczy stosunku dwóch wielkości nieskończenie wielkich. W istocie bowiem nie proporcja, lecz granica proporcji sum cząstkowych rozbieżnych szeregów wyrażać się może liczbą skończoną rzeczywistą. W zapisie formalnym:

$$\sum_{n=1}^{\infty} 2n : \sum_{n=1}^{\infty} n \neq 2$$

lecz

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^n 2n : \sum_{n=1}^n n = 2$$

Jest to zapewne właściwa interpretacja rozważań Roberta Grosseteste'a o stosunkach sum szeregów nieskończonych, choć brak odpowiednich pojęć formalnych pozwolił mu ująć je jedynie w postaci intuicji wyrażonych w języku naturalnym.

Znaczenie obu tych intuicji analitycznych będących szkieletem konstrukcyjnym kosmogonii opisanej w *De luce* dlatego jest tak duże, iż im właśnie zawdzięczamy podobieństwo koncepcji Grosseteste'a do dzisiejszego modelu kosmologicznego. Również on opiera się bowiem na pojęciach analizy matematycznej, będącej od czasów Leibniza i Newtona właściwym, podstawowym językiem fizyki. Owo podobieństwo nie jest zatem kwestią zwykłego przypadku, lecz wynikiem przyjęcia przez uczonego z Oksfordu analitycznych założeń.

Grosseteste szczególną wagę przywiązywał do kwestii istnienia skończonej proporcji (w naszej interpretacji — granicy) sum dwóch szeregów rozbieżnych, z których jeden reprezentował aktywne światło, drugi zaś miarę powstającej rozciągłości przestrzennej powiązanej nieodłącznie z materią. Toteż kwestią zasadniczą będzie odpowiedź na pytanie o rolę granicy ilorazu sum rozbieżnych szeregów. Granica ta wedle autora *De luce* jest miarą rozciągłości powstającej materii. Oczywiście, rozciągłość materii możemy tu utożsamić z miarą powstającej rozciągłości przestrzennej. Nie istnieje bowiem przestrzeń pusta⁹. Światło, jako pierwsza forma aktualizująca materię pierwszą kreuje bowiem rozciągłość kulistą trójwymiarową. Granicę ilorazów sum szeregów rozbieżnych, będącą miarą tej rozciągłości, w naturalny sposób utożsamimy z jej promieniem — miarą najlepiej charakteryzującą rozciągłość kulistą. Granica ilorazu szeregów rozbieżnych wyrażająca się liczbą rzeczywistą, mającą jasną interpretację fizyczną (promień powstającego świata) jest dla oksfordzkiego uczonego przejściem od początkowej osobliwości [(postaci $0 \times \infty$) — gdzie 0 oznacza promień świata, zaś ∞ nieskończenie wielką gęstość materii (energii) σ_m tego świata (tak interpretujemy bowiem

⁹ Zob: *O świetle*, dz. cyt., s. 136.

nieskończony potencjał twórczy światła — utożsamiając go z energią]) do wielkości rzeczywistych skończonych, których interpretacją fizyczną jest skończony pod względem promienia i gęstości materii σ_m świat. Grosseteste dociera intuicyjnie od początkowej osobliwości $0 \times \infty$ do skończonej liczby rzeczywistej, której naturalną interpretacją fizyczną jest miara promienia powstającego świata (R_v); oczywiście, liczba ta przebiega cały zbiór $]0;...;C]$. Albowiem jeśli „światło przez nieskończone samopowtarzanie rozprzestrzenia materię do wymiaru dwóch łokci (*in dimensionem bicubitam*), to owym podwajaniem (*duplicata*) samopowtarzaniem nieskończonym rozprzestrzenia się już do wymiaru czterech łokci (*tetracubitam*), podczas gdy połówkowe (*subduplicata*) samopowtarzanie daje w efekcie jednołokciowy rozmiar (*in dimensionem monocubitam*). I tak podobnie dzieje się zgodnie z kolejnymi proporcjami wyrażanymi liczbami wymiernymi i niewymiernymi”¹⁰. Zarazem: „Światło przez nieskończone samopomnażanie promieniuje jednakowo we wszystkich kierunkach, rozprzestrzenia materię równomiernie i kuliście na wszystkie strony”¹¹.

Skoło ekspansja przebiegała kulistosymetrycznie i polegała na kreacji kulistej rozciągłości, to promień świata R_v przebiegał w sposób ciągły zbiór $]0;...;c]$. Zbiór miar promienia świata R_v jest lewostronnie otwarty z uwagi na początkową osobliwość, prawostronnie zaś domknięty określoną wielkością c , gdyż ekspansja kończy się i powstaje stabilny i statyczny wszechświat. Sumując wyniki dotychczasowej analizy określmy model kosmologiczny Grosseteste’a jako model „ekspansji asymptotycznej” z uwagi na początkową osobliwość czasoprzestrzeni, którą postuluje Grosseteste. Są to zarazem dość znamienne cechy powszechnie dzisiaj przyjmowanej teorii wielkiego wybuchu. Opisujący w *De luce* świat jest rozciągłością kulistą o określonym, dla każdej chwili ze zbioru oznaczoności czasu $]0;...;t_c]$, promieniu $R_v \in]0;...;R_c]$. Osobliwość początkowa w modelu oksfordzkiego uczonego — o zerowym promieniu i nieskończonej wielkiej potencjał twórczym światła, równoważna jest osobliwości dzisiejszej teorii — także o zerowym promieniu. lecz zarazem o nieskończonej wielkiej gęstości energii (materii) σ_m . Świat w jednym i drugim sformułowaniu kosmologicznym będzie więc iloczynem kartezjańskim $\langle x_0; (x_1, x_2, x_3) \rangle$ punktów trójwymiarowej przestrzeni i jednowymiarowego czasu $x_0 \in t$ ¹².

Zarazem jednak model kosmologiczny Grosseteste’a różni się w znaczących aspektach od współczesnej kosmologii; nie ma w nim bowiem określonej grawitacji, natomiast określony jest rozkład gęstości materii σ_m — kulistosymetryczny i monotonicznie malejący od środka kuli ku jej zewnątrz. W tej kosmogonii ekspansja kończy się i powstaje stabilny, statyczny świat. Ewentualnie następować

¹⁰ Tamże, s. 134.

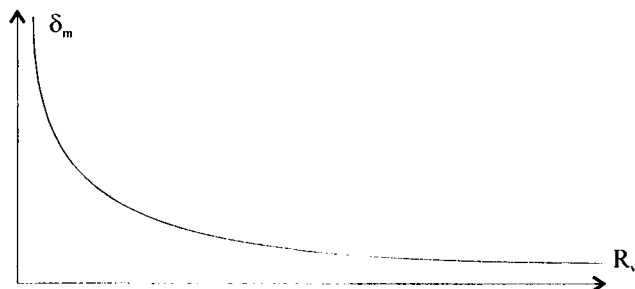
¹¹ Tamże, s. 135.

¹² Zob. też w kwestii czasoprzestrzeni mechaniki Arystotelesa jako iloczynu kartezjańskiego — Michał Heller, *Fizyka ruchu i czasoprzestrzeni*, Warszawa 1993, s. 25–34.

może wyrównywanie się rozkładu gęstości materii σ_m wewnątrz świata. Natomiast świat w ujęciu dzisiejszych teorii wciąż ekspanduje i nie wiemy, czy ekspansja ta kiedykolwiek osiągnie kres, gdyż nie ma możliwości dokładnego obliczenia rozkładu masy w czasoprzestrzeni, od czego zależy przecież, w myśl równania Einsteina-Hilberta, geometria czasoprzestrzeni, a zatem także ewentualne grawitacyjne zapadanie się wszechświata do osobliwości. Dodatkowym problemem jest kwestia odchodzenia w najnowszych koncepcjach kosmologicznych od postulatu jednej osobliwości początkowej — przyjmuje się ich nieskończenie wiele, mogą one ekspandując tworzyć własne światy. Inną drogą eksplikacji byłaby idea eliminowania osobliwości poprzez liczenie czasu w liczbach urojonych, czy nawet wprowadzenie zespolonego — dwuwymiarowego czasu, co zaproponował S. Hawking. Są to już jednak zaawansowane kwestie kosmologiczne, my zaś porównując kosmologię Grosseteste'a odwoływać się będziemy do standardowej wersji teorii wielkiego wybuchu.

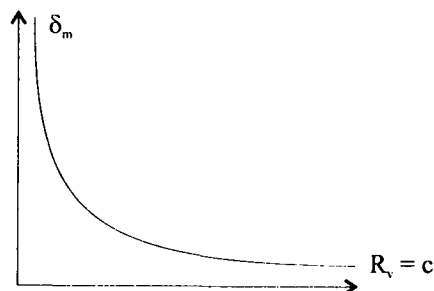
Podobieństwa i różnice obydwu koncepcji kosmologicznych ukazują wykresy 2 i 3.

Wykres 2. Zależność promienia świata R_v i gęstości materii (energii) σ_m przyjmowana przez dzisiejszą kosmologię relatywistyczną wygląda w przybliżeniu następująco:



Pionowa asymptota krzywej — oś σ_m odpowiada początkowej osobliwości. Promień świata R_v jest oczywiście funkcją czasu $R_v = R_v(t) : t \in [0]...[c]$

Wykres 3. Przybliżony model dla świata Grosseteste'a wyglądałby tak:



Pionowa asymptota krzywej odpowiada początkowej osobliwości. Jednak punkt $R_v = c$ reprezentuje koniec obszaru zmienności promienia świata. Dla tej wielkości promienia R_v ekspansja kończy się i powstaje skończony stabilny wszechświat. Świat w ujęciu dzisiejszych teorii jest dynamiczny, ekspansja trwa cały czas, czyli R_v i σ_m są zmienne w czasie. Zarówno w Grosseteste'owym, jak i w dzisiejszym modelu kosmologicznym obowiązuje jednak zasada wariacyjna (najmniejszego działania).

Ważnym aspektem kosmologii Grosseteste'a jest jego pogląd na związek materii z przestrzenią, w myśl którego nie może istnieć pusta przestrzeń. Pogląd ten lokuje Grosseteste'a jako prekursora stanowiska Leibniza w późniejszej wielkiej dyskusji fizyków i filozofów, której najbardziej znanym etapem była polemika Leibniza z Clarkiem, zaś której ostateczne rozstrzygnięcie przyniosły dopiero równania Einsteina-Hilberta, znane jako Ogólna Teoria Względności, które w sposób ilościowy i weryfikowalny empirycznie przedstawiły powiązanie struktury (geometrii) czasoprzestrzeni z rozkładem materii.

Podobieństwo tych dwóch modeli kosmologicznych, przy utożsamieniu mocy twórczej światła z gęstością materii (energii), σ_m , jest jednak znaczące. Jego przyczyną nie jest żaden przypadek, lecz dwie intuicje matematyczne naszego uczonego, które, już własną logiką właściwą językowi, jakim jest matematyka, określają taki a nie inny model kosmologiczny świata. Wszak cała dzisiejsza fizyka i kosmologia określona jest przede wszystkim językiem, jakim jest analiza matematyczna.

II. Rola pomiaru i modelu matematycznego w fizyce Grosseteste'a a wykształcanie się paradygmatu współczesnej fizyki

Wielka rola, jaką Grosseteste odegrał w wykształcaniu się paradygmatu współczesnego przyrodoznawstwa, ma ścisły związek z istotą jego koncepcji kosmologicznej i jej nowatorstwem na tle koncepcji mu współczesnych, jak również bezpośrednim wpływem na uczniów — przede wszystkim Rogera Bacona. Prekursorstwo koncepcji Grosseteste'a polega na próbie konstrukcji modelu matematycznego w kosmologii (w tej mierze, w jakiej pozwalał na to ówczesny stopień rozwoju matematyki) i ogólnie w fizyce oraz w przywiązywaniu dużej wagi do empirycznej weryfikacji tego modelu. Wskutek bezpośredniego oddziaływania na Rogera Bacona, A. Crombie przypisuje Grosseteste'owi zasadniczą rolę w wykształcaniu się brytyjskiej tradycji badań empirycznych w zakresie nauk szczegółowych.

Powyższe metodologiczne uwagi są ściśle związane z kosmologią Grosseteste'a, której zmienną cechą na tle współczesnych jej koncepcji nie wykraczających poza jakościową kosmologię Arystotelesa, jest prekursorskie położenie akcentu na rolę liczb rzeczywistych w modelu matematycznym jako środka opisu

zmian ciągłych. To właśnie jest podstawą metodologii fizyki matematycznej po Newtonie (także kosmologii).

III. Podsumowanie

Omówione powyżej najbardziej istotne tezy kosmologiczne oksfordzkiego uczonego, zapisane w języku współczesnej matematyki, ukazują swą uniwersalność i aktualność. Co więcej, idea analityczna (zbieżność świata z początkową osobliwością) ukształtowała niemal bez reszty kosmologię Grosseteste'a, która ponad wiekami wkracza w erę relatywistycznej kosmologii posteinsteinowskiej. Uwaga ta odnosi się oczywiście — zgodnie z założeniem, które uczyniliśmy na wstępie naszej analizy — wyłącznie do struktury matematyczno-przyrodznawczej dzieła oksfordzkiego uczonego. Najistotniejsze jest jednak to, że Grosseteste w wielu swoich intuicjach, już to o charakterze kosmologicznym, wspartych próbą konstrukcji modelu matematycznego uzasadniającego taką kosmologię, już to w ważnych założeniach metodologicznych określających w znacznej mierze jego fizykę (idea mierzenia zmian ośrodków ciągłych, konkretnie zaś natężenia *intensio*) światła w liczbach rzeczywistych, wykroczył daleko poza umysłowość swojej epoki, będąc bliski przyrodznawstwu po Newtonie, a nawet kosmologii relatywistycznej, którą cechuje przyjmowanie modelu dynamicznego ekspandującego wszechświata, którego początek stanowiła osobliwość postaci $0 \times \infty$. Drugim wyróżnikiem charakteryzującym kosmologię posteinsteinowską jest ściśle określenie powiązania rozkładu materii z geometrią czasoprzestrzeni (rozmaitości pseudoriemannowskiej). Zasada wariacyjna ma bardziej ogólny charakter, gdyż obowiązuje zarówno w mikroświecie, jak i niezbędna jest przy wyprowadzaniu równań Ogólnej Teorii Względności. Istotą zaś teorii kosmologicznej Grosseteste'a w porównaniu ze współczesnymi mu koncepcjami arystotelesowskimi jest idea dynamicznej kosmogonii rozpoczynającej się od osobliwości czasoprzestrzennej podczas gdy świat Arystotelesa jest światem statycznym. Kosmogonia ta zostaje wreszcie ufundowana na pojęciach należących do później powstałej analizy matematycznej (teorii sum szeregów nieskończonych). Swoiste dla fizyki i kosmologii Grosseteste'a było także przyjmowanie intuicyjnej wersji zasady najmniejszego działania oraz tezy o związku przestrzeni z materią, w której oksfordzki uczone przewidywał na długo przed dyskusją Clarke'a i Leibniza zależność ściśle sformułowaną przez Einsteina i Hilberta.

Te właśnie cztery podstawowe tezy kosmologii Grosseteste'a decydujące o jej nowatorstwie na tle współczesnej mu czysto jakościowej kosmologii Arystotelesa w jej arabskich modyfikacjach stanowią zarazem o interesującej zbieżności koncepcji „mistrza Roberta” z podstawowymi tezami dzisiejszej kosmologii relatywistycznej, za które można przyjąć postulat ekspansji świata, którego początkiem była osobliwość czasoprzestrzeni, równanie Einsteina-Hilberta wiążące strukturę czasoprzestrzeni z tensorem energii — pędu (rozkładem materii) oraz właśnie

zasadę wariacyjną, której znaczenie jest jednak ogólnofizyczne. Podobieństwo koncepcji Grosseteste'a w pewnych jej aspektach do współczesnych teorii kosmologicznych ujawnia się bezsprzecznie przy próbie interpretacji tych aspektów w języku współczesnej matematyki.